

**VŠB – Technická univerzita Ostrava**  
**Fakulta elektrotechniky a informatiky**  
**Katedra elektroenergetiky**

**Posouzení LED technologií v nových interiérových  
osvětlovacích soustavách**

**Comparing of the LED technologies in the new interior  
lighting systems**

## Zadání bakalářské práce

Student: **Ilona Mušálková**  
Studijní program: **B2649 Elektrotechnika**  
Studijní obor: **3907R001 Elektroenergetika**  
Téma: **Posouzení LED technologií v nových interiérových osvětlovacích soustavách**  
**Comparing of the LEDs technologies in the new interior lighting systems**

### Zásady pro vypracování:

1. Světelné zdroje využívané ve vnitřních osvětlovacích soustavách
2. Svítidla využívaná ve vnitřních osvětlovacích soustavách
3. Osvětlovací soustavy vnitřního osvětlení a normativní požadavky
4. Návrh modelové soustavy vnitřního osvětlení s různými světelnými zdroji
5. Ekonomické a technické zhodnocení jednotlivých variant modelového výpočtu
6. Měření umělé osvětlovací soustavy osazené zářivkami a LED a porovnání reálných vlastností a výsledků

### Seznam doporučené odborné literatury:


- [1] Sokanský, K.: Světelná technika, ČVUT, Praha, 2011
- [2] Plch, J.: Světelná technika v praxi. IN-EL spol. s.r.o., Praha 1999,
- [3] Habel, J.: Světelná technika a osvětlování. FCC Public, Praha 1995,
- [4] Sborníky z Kurzů osvětlovací techniky, VŠB-TU Ostrava
- [5] Manuály k výpočetním programům (Relux, WILS, WDLS)


Formální náležitosti a rozsah bakalářské práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

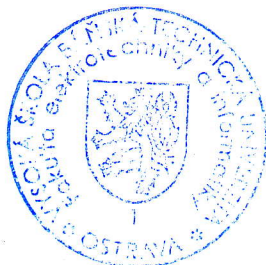
Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Tomáš Novák, Ph.D.**

Datum zadání: 30.11.2012

Datum odevzdání: 07.05.2013

  
\_\_\_\_\_  
prof. Ing. Stanislav Rusek, CSc.  
vedoucí katedry

  
\_\_\_\_\_  
prof. RNDr. Václav Snášel, CSc.  
děkan fakulty



### **Prohlášení studenta**

„Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně. Uvedla jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.“

V Ostravě dne 7. 5. 2013

.....*Mušálková*.....

Ilona Mušálková

## **Poděkování**

„Na tomto místě bych ráda poděkovala panu Ing. Tomáši Novákovi, Ph.D., dále panu prof. Ing. Karlu Šokanskému, CSc., Ing. Janu Šumpichovi a Ing. Zbyňkovi Carbolovi za odbornou pomoc, konzultace a vstřícné rady při zpracování této bakalářské práce.“

## **Abstrakt**

Začátek bakalářské práce pojednává o světelných zdrojích všeobecně, tudíž i o základních parametrech světelných zdrojů. Dále jsou zde uvedeny typy světelných zdrojů pro vnitřní osvětlení jak na základě tepelného záření, tak na základě luminiscence, jejich rozdíly a spektra vyzařování barev. Rozšířenější část bakalářské práce je o LED světelných zdrojích. Jsou uvedeny jejich výhody a nevýhody při rozhodování se, zda je pořídit do interiéru či ne.

Praktickou část bakalářské práce tvoří porovnání instalování osvětlovací soustavy s LED světelnými zdroji a osvětlovací soustavy se zářivkami. Na těchto příkladech jsou uvedeny výhody a nevýhody obou uvažovaných soustav. Srovnány jsou vypočítané a naměřené hodnoty parametrů obou osvětlovacích soustav, ale také i jejich ekonomické hledisko.

## **Klíčová slova**

Světelné zdroje, LED technologie, svítidla, svítivost, zvyšování účinnosti, osvětlenost, řízení světelného toku

## **Abstract**

The beginning of thesis discusses light sources in general and of course about basic parameters of light sources. There are listed types of light sources for interior lighting terms basis of thermal radiation and luminiscence, their differences and spectral power distribution. The most common section of thesis is about LED. Advantages and disadvantages of LEDs are written in this thesis as a result of purchase decision.

The practical part of thesis is about installing the lightning system with light sources of LED and the lightning system of fluorescents. There are listed advantages and disadvantages of both the considered systems in these examples. There are compared the calculated and measured values of the parameters of both lightning systems and also their economic aspect.

## **Keywords**

Light sources, LED technologies, lamps, luminosity, increasing efficiency, illuminance, management luminous flux

## Seznam použitých zkratek

Symbol	Význam	Jednotka
$\eta_{SV}$	účinnost svítidel	[-]
$\phi_{SV}$	světelný tok svítidel	[lm]
$\phi_Z$	světelný tok zdrojů	[lm]
$\eta$	měrný výkon	[lm.W <sup>-1</sup> ]
$\phi$	světelný tok	[lm]
$P$	elektrický příkon	[W]
$L$	jas svítící části každého svítidla ve směru oka pozorovatele	[cd.m <sup>-2</sup> ]
$I_\gamma$	svítivost svazku světelných paprsků svítící plochy	[cd]
$A$	plocha	[m <sup>2</sup> ]
$\cos\gamma$	úhel, o který je viděná plocha natočená od kolmice k ose pohledu	[-]
$R_a$	podání barev	[-]
$T_c / T_{ch}$	teplota chromatičnosti	[K]
$T_{cp}$	náhradní teplota chromatičnosti	[K]
$T$	doba života světelného zdroje	[h]
$D$	střída	[-]
$I_{LED(max)}$	maximální proud protékající LED	[A]
$I_{LED(av)}$	střední hodnota proudu protékající LED	[A]
$I$	svítivost	[cd]
$\Omega$	prostorový úhel	[sr]
$E$	osvětlenost	[lx]
$l$	vzdálenost světelného zdroje od plochy	[m]
$\delta$	úhel clonění	[-]
$\cos\beta$	úhel svírající dopadající paprsek s normálou plochy	[-]
$I_{max}$	maximální svítivost	[cd]
$I_{stř}$	střední svítivost	[cd]
$K_F$	činitel tvaru křivky	[-]
$h$	výška od světelného zdroje ke konci reflektoru	[m]
$R$	poloměr od okraje reflektoru ke středu světelného zdroje	[m]
$r$	poloměr světelného zdroje	[m]
$UGR$	činitel řešící přímé rušivé oslnění	[-]
$L_B$	jas pozadí	[cd.m <sup>-2</sup> ]
$\omega$	prostorový úhel svítící části každého svítidla vzhledem k oku pozorovatele	[sr]
$p$	činitel polohy pro každé svítidlo dle jeho odklonu od směru pohledu	[-]

Zkratka	Význam
LED	<i>Light emitting diode</i> – dioda emitující světlo
UV	<i>Ultraviolet</i> – ultrafialové záření
IR	<i>Infrared Radiatino</i> – infračervené záření
PWM	<i>Pulse Width Modulation</i> - pulsně šířková modulace
AM	<i>Amplitude Modulation</i> - amplitudová modulace
IP	<i>Ingress protection</i> - stupeň krytí
DMX	<i>Digital multiplex</i> – digitální rozhraní
DALI	<i>Digital Addressable Lighting Interface</i> – digitální adresovatelné světelné rozhraní
SMD	<i>Surface mounted device</i> – povrchová montáž
CIE	<i>Commission internationale de l'éclairage</i> – mezinárodní komise pro osvětlování
DIN	<i>Deutsche Industrie - Norm</i> - německá národní norma

# Obsah

Úvod .....	1
<b>1. Světelné zdroje využívané ve vnitřních osvětlovacích soustavách .....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Základní parametry světelných zdrojů .....</b>	<b>2</b>
1.1.1 Světelně – technické parametry světelných zdrojů .....	3
<b>1.2 Druhy světelných zdrojů používaných pro osvětlování vnitřních pracovních prostorů.....</b>	<b>7</b>
1.2.1 Světelné zdroje na principu teplotního záření .....	8
1.2.2 Světelné zdroje na principu luminiscence .....	10
1.2.3 Porovnání měrných výkonů světelných zdrojů .....	18
<b>1.3 Možnosti regulace světelného toku jednotlivých typů světelných zdrojů.....</b>	<b>19</b>
1.3.1 Možnosti regulace světelného toku u klasické žárovky .....	20
1.3.2 Možnosti regulace světelného toku u halogenových žárovek na nízké napětí.....	20
1.3.3 Možnosti regulace světelného toku u zářivek s konvenčními předřadníky.....	20
1.3.4 Možnosti regulace světelného toku u zářivek se stmívatelnými elektronickými předřadníky.....	20
1.3.5 Možnosti regulace světelného toku diod (LED) .....	21
<b>1.4 Ukázka porovnání nákladů na provoz osvětlovací soustavy s LED světelnými zdroji .....</b>	<b>22</b>
<b>1.5 Vývojové tendence světelných zdrojů.....</b>	<b>23</b>
<b>1.6 Možnosti náhrady klasických žárovek LED světelnými zdroji.....</b>	<b>24</b>
<b>2. Svítidla využívaná ve vnitřních osvětlovacích soustavách .....</b>	<b>25</b>
<b>2.1 Světelně činné části svítidel.....</b>	<b>25</b>
2.1.1 Svítivost .....	25
2.1.2 Dělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku.....	27
<b>2.2 Konstrukční části svítidel .....</b>	<b>28</b>
2.2.1 Dělení svítidel dle typu montáže pro vnitřní osvětlení .....	28
<b>2.3 Elektrotechnické části svítidel.....</b>	<b>28</b>
2.3.1 Předřadník.....	29
2.3.2 Řízení inteligentní instalace .....	29
2.3.3 Třídění svítidel dle ochrany před nebezpečným dotykem.....	30
<b>2.4 Aplikace LED svítidel ve vnitřních pracovních prostorech.....</b>	<b>31</b>
2.4.1 LED svítidla v interiérech .....	31
<b>2.5 Možnosti zvyšování účinnosti svítidel.....</b>	<b>35</b>
2.5.1 Usměrnování světelného toku.....	35



2.6 Zábřana oslnění.....	37
<b>3. Osvětlovací soustavy vnitřního osvětlení a normativní požadavky .....</b>	<b>40</b>
3.1. Kritéria pro navrhování osvětlení dle normy ČSN EN 12464-1 .....	40
3.1.2 Rozložení jasu.....	40
3.1.3 Osvětlenost .....	41
3.1.4 Oslnění.....	44
3.2 Osvětlení vnitřního prostoru dle normy ČSN EN 12464-1 .....	45
3.2.1 Podání tvaru.....	45
3.2.2 Hledisko barev.....	45
3.2.3 Míhání a stroboskopické jevy.....	46
3.2.4 Udržovací činitel .....	46
3.3 Výpočtové metody vnitřního osvětlení.....	47
3.3.1 Bodové metody pro vnitřní osvětlení.....	47
3.3.2 Výpočetní program Relux.....	49
<b>4. Návrh modelových soustav vnitřního osvětlení.....</b>	<b>50</b>
4.1 Osvětlení v místnosti A2.02 - Chodba.....	50
4.1.1 Navržené osvětlovací soustavy.....	50
4.1.2 Požadavky na osvětlení místnosti .....	51
4.2 Porovnání parametrů uvažovaných osvětlovacích soustav .....	52
<b>5. Ekonomické a technické zhodnocení jednotlivých variant modelového výpočtu.....</b>	<b>54</b>
5.1 Zhodnocení navržených osvětlovacích soustav.....	55
<b>6. Porovnání vypočtených a naměřených výsledků řešených osvětlovacích soustav .....</b>	<b>57</b>
6.1 Osvětlovací soustava osazená LED .....	57
6.1.1 Porovnání vypočítaných hodnot a naměřených hodnot chodby.....	58
6.2 Osvětlovací soustava osazená zářivkami.....	59
6.2.1 Porovnání vypočítaných hodnot a naměřených hodnot studijního oddělení.....	60
<b>7. Závěr.....</b>	<b>62</b>
<b>8. Použité zdroje .....</b>	<b>64</b>
<b>9. Seznam příloh .....</b>	<b>67</b>

## Úvod

V posledních letech se nám naskytuje spousta možností, jak osvětlit různé interiérové prostory, přičemž nejčastěji využíváme ve svítidlech světelných zdrojů, jako jsou žárovky, zářivky, ale také právě i LED, jejichž vývoj neustále postupuje dopředu. V rámci tohoto rozvoje LED světelných zdrojů se také rozvíjejí i jejich variabilní možnosti pro osvětlování vnitřních prostorů.

Navzdory stále vyšší ceně oproti ostatním světelným zdrojům umožňuje instalování LED svítidel především snížit provozní náklady na osvětlení a to díky své vysoké účinnosti, při níž potřebuje menšího příkonu na vytvoření stejných světelných podmínek. Tato bakalářská práce tak tuto vlastnost posoudí na praktickém příkladě při porovnání osvětlovací soustavy se zářivkami a s LED.

Teoretické kapitoly této bakalářské práce jsou zaměřeny především na rozdílech jednotlivých světelných zdrojů pro vnitřní osvětlování v porovnání s LED světelnými zdroji a také všeobecné vlastnosti svítidel. Dále jsou uvedeny důležité parametry a podmínky pro osvětlování vnitřních pracovních prostorů dle normy ČSN EN 12464-1.

Praktická část bude tedy tvořena vzájemným porovnáním osvětlovací soustavy s LED svítidly a se zářivkami pro jednu a tu samou místnost a další dílčí částí bude porovnání naměřených hodnot s vypočítanými.

# 1. Světelné zdroje využívané ve vnitřních osvětlovacích soustavách

Světelný zdroj je zdroj elektromagnetického záření v rozsahu vlnových délek zhruba od 380 do 780 nm, což je záření, které můžeme pozorovat lidským okem jako viditelné světlo.

Zpravidla rozlišujeme světelné zdroje přírodní a zdroje umělé (člověkem vytvořené).

Umělé zdroje světla se rozdělují podle dalších hledisek. Jedno z nich je podstata vzniku světla. Rozeznáváme zdroje na principu teplotního záření (např. žárovky), záření elektrického výboje a parách kovů (zářivky, výbojky) anebo luminiscence (např. světelné diody).

## 1.1 Základní parametry světelných zdrojů

Parametry světelných zdrojů můžeme rozdělit na kvantitativní a kvalitativní:

- **Kvantitativní:** zde řadíme tyto parametry: vyzařovaný světelný tok  $\Phi$  a elektrický příkon  $P$ . Pro vzájemné porovnání zdrojů je podstatnou veličinou měrný výkon  $\eta$ . Parametry jsou důležité především pro projektanty, kteří potřebují znát příkon celkové osvětlovací soustavy. [13]
- **Kvalitativní:** kvalita se posuzuje podle délky života  $T$  světelných zdrojů, podle indexu podání barev  $R_a$  a podle stálosti světelně-technických parametrů. V praxi se světelné zdroje rozlišují především podle barevného tónu vyzařovaného světla., tudíž je podstatnou veličinou již zmíněný index podání barev  $R_a$ . Stálost světelně – technických parametrů souvisí s provozními podmínkami světelných zdrojů. Jedná se o časovou závislost, která může být definována jako rychlá, nebo jako pomalá:
  - **Rychlé změny:** rychlými změnami se rozumí změny parametrů jako např. světelného toku  $\Phi$  v závislosti na napájecím napětí o frekvenci 50 Hz. Světelný tok kolísá, je-li frekvence dvojnásobná a toto kolísání dále závisí na setrvačných podmínkách světelného zdroje. Tento jev pak může vyvolat tzv. stroboskopický efekt, který se stává nebezpečnou záležitostí v provozech, kde se vyskytují točivé stroje. Díky tomuto efektu se nám může zdát, že točivé stroje jsou v klidu, nepohybují se, avšak, to může být klamným zdáním a osudovým. K dalším rychlým změnám patří také změny závislosti světelného toku  $\Phi$  na kolísání efektivní hodnoty napětí v oblasti 8-12 Hz. Na kolísání napětí jsou nejcitlivější žárovky. Dále mezi tyto změny zahrnujeme náběh světelného zdroje po jeho zapnutí k napájecí síti. Běžné žárovky nabíhají téměř okamžitě po zapnutí, kdežto výbojové světelné zdroje mají ustálené parametry až po několik minutách. [13]
  - **Pomalé změny:** u pomalých změn jde o závislost parametrů světelných zdrojů na statických změnách napětí (vyjádření pomocí křížových charakteristik). Mezi pomalé změny také patří změny parametrů způsobené stárnutím zdrojů. Je zřejmé, že jejich světelný tok  $\Phi$  během života klesá. [13]

### 1.1.1 Světelně – technické parametry světelných zdrojů

Jedním z nejdůležitějších okruhů ovlivňujících spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav jsou právě světelné zdroje. K hlavním parametrům, podstatným u těchto zdrojů, jsou: měrný výkon, doba života, index podání barev a v neposlední řadě také možnost stmívání (možnost dynamického osvětlení) a rozměry. [12]

- **Světelný tok:**

Značení:  $\phi$  = [lm] (lumen)

Význam: Jedná se o fotometrickou veličinu vyjadřující schopnost toku působit na zrakové vnímání. Světelný tok udává, kolik celkového světla vyžáří zdroj do všech směrů. Je dán rozdílem všech zdrojů  $\phi_Z$ , umístěných ve svítidle a ztraceného světelného toku  $\phi_{ZTR}$ , který se ztratil při optickém zpracování. [12]

- **Účinnost:**

Značení:  $\eta_{SV}$  = [-]

Význam: Účinnost svítidla charakterizuje hospodárnost svítidla a její hodnota je dána poměrem světelného toku  $\phi_{SV}$  svítidla ke světelnému toku  $\phi_Z$  zdrojů:

$$\eta_{SV} = \frac{\phi_{SV}}{\phi_Z}, \quad [-; \text{lm}, \text{lm}]$$

, kde  $\phi_{SV}$  je světelný tok svítidla  
 $\phi_Z$  je světelný tok zdrojů

Maximální účinnost by pak měl z tohoto hlediska holý světelný zdroj. Ten však není možné použít z důvodu oslnění, nevhodného směřování vyzařovaného toku  $\phi$  a nedostatečné ochrany před mechanickým poškozením. U běžných svítidel se v současnosti pohybuje účinnost v rozmezí 0,5 – 0,8, u LED svítidel pak i přes 0,95.

Důležitou poznámkou je však to, že zářivky mají světelný tok závislý na teplotě a dle CIE se pro zářivková svítidla definuje optická a provozní účinnost. Optická účinnost se stanovuje z hodnot světelného toku a zdrojů při provozních teplotách. Provozní účinnost je pak určena světelným tokem svítidla při provozní teplotě a tokem zdroje při jmenovité teplotě, která činí pro zářivky 25°C. [12] [13]

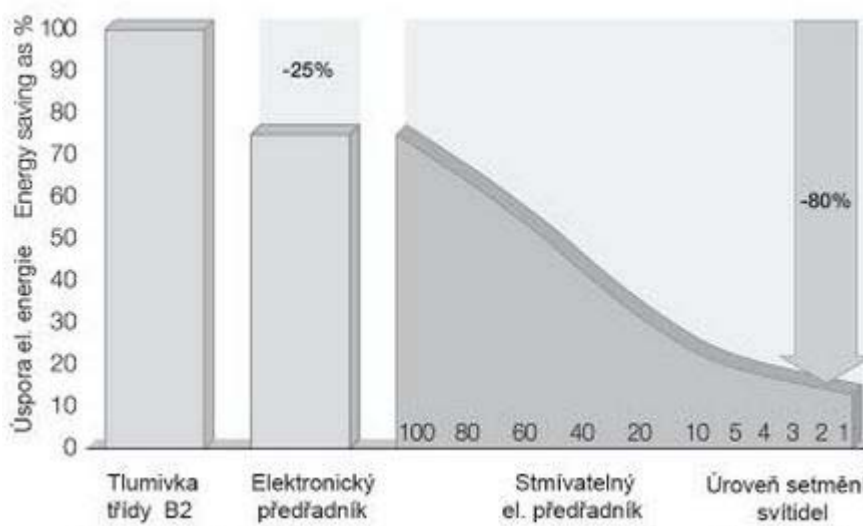
- **Měrný světelný výkon:**

Značení:  $\eta$  = [lm.W<sup>-1</sup>] (lumen na watt)

Význam: Tato veličina udává, s jakou účinností je ve zdroji světla přeměňována elektřina na světlo, to znamená, kolik lumenů světelného toku  $\phi$  se získá z 1W elektrického příkonu  $P$  spotřebovaného ve světelném zdroji: [12]

$$\eta = \frac{\phi}{P}, \quad [\text{lm} \cdot \text{W}^{-1}; \text{lm}, \text{W}]$$

, kde  $\phi$  je světelný tok  
 $P$  je elektrický příkon



Obr 1 – Ztráty elektrické energie při použití různých předřadníků

- Jas:**

Značení:  $L = [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}]$  (kandela na metr čtvereční)

Význam: Jas svítidla je definován jako podíl svítivosti v daném směru a velikosti průmětu svítící plochy do roviny kolmé ke směru pozorování. [13]

$$I_{\gamma} = \frac{I_{\gamma}}{A \cdot \cos \gamma}, \quad [\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}; \text{cd}, \text{m}^2]$$

, kde  $I_{\gamma}$  je svítivost svazku světelných paprsků svítící plochy  
 $A$  je velikost průmětu pozorované svítící plochy pozorovatelem  
 $\cos \gamma$  je úhel, o který je viděná plocha natočená od kolmice k ose pohledu

- Index podání barev:**

Značení:  $R_a = [-]$  (bezrozměrné)

Význam: Každý světelný zdroj by měl podávat svým světelným tokem barvy okolí, předmětů a lidské pokožky tak, aby vypadaly věrohodně stejně jako za denního světla, působili pocit celkové a duševní pohody. [13]

Index podání barev, značený  $R_a$ , je měřítkem této vlastnosti a je dán rozsahem 0 – 100, přičemž index podání barev s rozsahem 100 mají světelné zdroje, které zobrazují barvy věrně, to znamená stejně tak jako denní světlo. Je-li index podání barev 0, pak naopak světelné

zdroje vyzařují světelný tok jedné délky, při které nedochází k rozeznání barev, protože tyto barvy nejsou ve spektru obsaženy.

Světelné zdroje indexem podání barev menším než 80 nesmějí být použity ve vnitřních prostorech, kde je trvalý pobyt osob. [13]



Obr 2 – Podání barev [27]

- **Teplota chromatičnosti:**

Značení:  $T_c = [K]$  (Kelvin)

Význam: Teplotou chromatičnosti zdroje rozumíme teplotu tzv. černého zářiče, při které je spektrální složení záření těchto dvou zdrojů blízké. Jinými slovy lze říci; zvýší-li se teplota absolutně černého tělesa, pak se zvýší podíl modré části vyzařovaného spektra a sníží se tak jeho podíl červené části. [13]

Například zářivka, jejíž světlo je podobné dennímu, má teplotu chromatičnosti 6000 K, kdežto obyčejná žárovka se spojitým spektrem má teplotu chromatičnosti 2700 K. [13]

Tato veličina je jedním z hlavních parametrů při volbě správného použití světelného zdroje pro při různých zrakových činnostech. Se zvyšující se teplotou chromatičnosti se díky křivce spektrální citlivosti lidského oka snižuje světelný tok a taktéž měrný světelný výkon, stejně tak naopak. [13]

Barevný tón světla světelného zdroje se vztahuje k zdánlivé barvě (chromatičnosti) vyzařovaného světla. Ta se popisuje náhradní teplotou chromatičnosti ( $T_{CP}$ ). [15]

Tabulka 1 - Skupiny barevného tónu světla světelných zdrojů [15]

Barevný tón světla	Náhradní teplota chromatičnosti $T_{CP}$ (K)
teple bílý	do 3 300
neutrálně bílý	3 300 až 5 300
chladně bílý	nad 5 300

Volba barevného tónu závisí z pohledu estetiky, psychologie a přirozenosti na úrovni osvětlení, klimatickém pásmu, barevné úpravě místnosti a nábytku, stejně tak jako na jeho materiálu a sestavení. [13]

V chladných klimatických podmínkách se preferuje teplejší barevný tón světla, kdežto v teplejších klimatických podmínkách se upřednostňuje tón světla chladnější.

Stejně tak to závisí na oblasti použití, jedná-li se např.: o místnosti, kde vyžadujeme pravidelnou pracovní činnost, pak chceme, aby výkon pracujícího byl v rámci možností co nejlepší a abychom udrželi pracujícího u činnosti (zrakového úkolu) čilého, tudíž je výhodnější zvolit barevný tón chladně bílý, zatímco teple bílý tón světla volíme spíše pro odpočinkové místnosti, kde se nevyskytuje neustálá přítomnost lidí.



Obr 3 – Ukázka místnosti s různou teplotou chromatičnosti

- **Doba života světelného zdroje:**

Značení:  $T = [h]$  (hodina)

Význam: Život světelného zdroje je doba funkce až do okamžiku, kdy zdroj přestal splňovat dané požadavky. Nejčastěji se vyjadřuje v hodinách. Ve světelném zdroji probíhají během jeho činnosti různé procesy, které tak způsobují postupné změny jeho parametrů a dále tak ovlivňují možnosti jeho funkce. V této souvislosti se používá pojem užitečný a fyzický život:

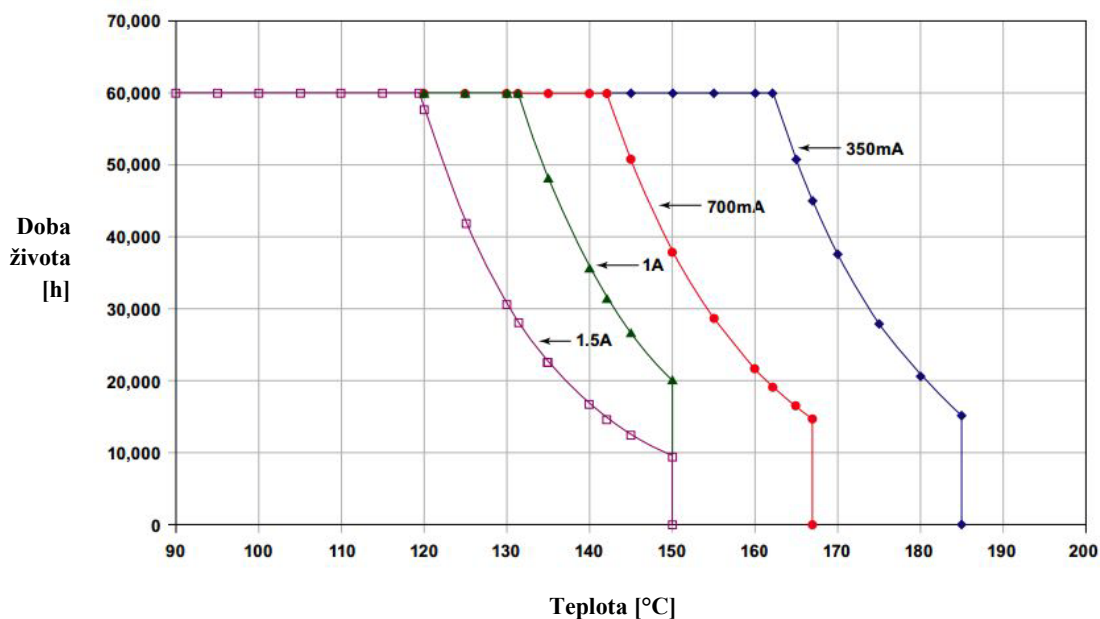
- **Fyzický život:** je celková doba svícení až do okamžiku úplné ztráty provozuschopnosti. U běžných žárovek tento jev pozorujeme jako přerušování vlákna, u výbojek pak jako neschopnost zapálit výboj.

- **Užitečný život:** je doba funkce světelného zdroje, během níž se zachovávají jeho hodnoty parametrů v určitých mezích. Např. u zářivek myslíme užitečným životem dobu, během níž neklesne jejich světelný tok pod 80% počáteční hodnoty.

- **Průměrná životnost:** Jedná se o průměr životností jednotlivých světelných zdrojů osvětlovací soustavy provozované za předem stanovených podmínek. Doba je dána časem, za který bude svítit přesně polovina ze sledovaného počtu světelných zdrojů, tedy míra výpadku dosáhne 50%. [12] [13]

- **Životnost LED světelných zdrojů:** Definice užitečného života je dána dobou provozu, během níž neklesne světelný tok pod 70% počáteční hodnoty (označované zkratkou L70). Těchto 70% je založeno na výzkumu vidění v běžných aplikacích, kdy lidské oko běžně nezjistí pokles světla až do hodnoty poklesu o 30%. Výrobci LED uveřejňují křivku světelného znehodnocení založenou na testování svých produktů, kdy se právě dosáhne znehodnocení světla při 70% LEDky. Podle druhu aplikací záleží na velikosti znehodnocení. Můžeme ještě uvést L50 nebo L80. [28]

**(B50, L70) životnost pro InGaN Luxeon K2**



**Obr 4 - Křivky ukazující předpokládanou dobu života LED založenou na proudy jimi protékajícího. Zdroj: Philips Lumileds [28]**

Tento graf ukazuje neprojektovanou životnost (B50, L70, což znamená, že 50% produktu bude vyzařovat alespoň 70% světelného toku) pro soubor K2 LED. Podle tohoto grafu je očekávaná životnost je 60 000 hodin pro 50% těchto LED K2 zařízení při proudu 350 mA tak, aby světelný tok dosahoval minimálně 70% a přitom se nejlépe nepřekročilo 160°C. Je-li zařízení napájeno vyšším proudem, např. 700 mA, pak musí být udržováno pod 140°C, aby životnost zařízení obsahující LED světelné zdroje, neklesla pod daných 60 000 hodin. [28]

## 1.2 Druhy světelných zdrojů používaných pro osvětlování vnitřních pracovních prostorů

Požadavky na světelné zdroje se mění. Současným trendem jsou miniaturní světelné zdroje. To platí pro zářivky, světelné diody i pro malé halogenové žárovky. Porovnání parametrů světelných zdrojů uvedeno v tabulce v příloze II.



### 1.2.1 Světelné zdroje na principu teplotního záření

Každé těleso zahřáté na určitou teplotu vyzařuje rovnovážné tepelné elektromagnetické záření. Spektrum tohoto záření je spojité a závisí na teplotě světelného zdroje, případně také emisivitě povrchu tohoto tělesa. Tyto zdroje se vyznačují ovšem poměrně malou světelnou účinností. [4]

Ideálním zdrojem tepelného záření je absolutně černé těleso. To je těleso, které pohlcuje veškeré záření dopadající na jeho povrch nezávisle na vlnové délce tohoto záření. [4]

#### Žárovky

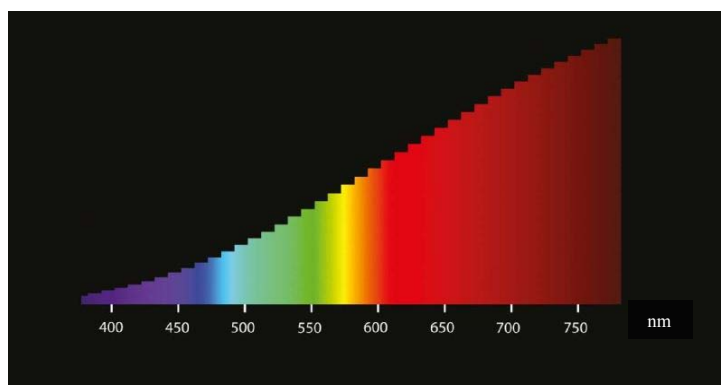
Jedná se o velmi rozšířené světelné zdroje s příjemně působícím světelným tokem, avšak pomalu uskupují z trhu. Žárovky jsou charakteristické měkkým neoslňujícím světlem s vysokým měrným výkonem. Byly prvním zdrojem umělého světla. Princip žárovkové technologie spočívá v tom, že do vnitřku skleněné baňky vakua je uloženo vlákno wolframu, přes které protéká elektrický proud, ten způsobuje ohřev vlákna a tím vznikne vyzařování do viditelné části spektra elektromagnetického vlnění. Dnešní žárovky mají vlákno ve tvaru spirály, které zaručuje vyšší účinnost a redukuje tepelné ztráty. Vakuum v baňce je proto, aby vlákno bylo chráněné před stykem s kyslíkem a následným hořením. [13]



Obr 5 – Žárovka



Obr 6 – Konstrukce žárovky



Obr 7 - Spektrum vyzařování barev žárovky; *CLASSIC A 15 W 230 V E27 (OSRAM)*

### ***Halogenové žárovky***

Charakterizovány menší energií, zato vydávají více světla. Jsou robustní a mrazuvzdorné. Mají zabudovaný UV filtr. Technicky dokonalé, odolné proti otřesům. Jejich měrný výkon je cca o 100% vyšší než standardní žárovky. [13]

U halogenových žárovek je uvnitř baňky kruhový proces, který způsobuje, že vypařený wolfram se při povrchu baňky slučuje s halovým prvkem, který následně vytváří halogenid a vlivem teplotního pole se wolfram vrací chaoticky zpět na vlákno. Tím se prodlužuje délka jeho života a zvyšuje se jeho světelný tok. [13]

#### **Kruhový proces je základem předností halogenových žárovek:**

- S rostoucí teplotou vlákna roste světelný tok
- Vlivem obnovy povrchu vlákna roste její doba životnosti
- Díky tomu, že nedochází k usazování wolframu na povrchu baňky, nedochází ke snižování světelného toku
- Celistvý tvar musí odpovídat tepelným požadavkům kruhového procesu [13]



Obr 8 - Halogenová žárovka; J78 150W/2000lm 230V GREENLUX

### 1.2.2 Světelné zdroje na principu luminiscence

Luminiscenční zdroje vyzařují světlo díky dějům v obalech atomů. Záření vzniká přechody mezi jednotlivými diskrétními energetickými hladinami elektronů v obalu atomu. Spektrum luminiscenčních zdrojů může být čárové nebo pásové. K tomu, aby tento zdroj vyzařoval světlo, je nutná nejprve excitace jeho atomů. K excitaci může dojít různým způsobem a to buď elektroluminiscencí, nebo fotoluminiscencí. [4]

Při elektroluminiscenci dochází k excitaci atomů jejich srážkou s elektrony, případně s ionty, které bývají urychleny nejčastěji vnějším elektrickým polem. Tento jev můžeme pozorovat například ve výboji zářivek nebo u světelných diod. Elektrony emitované elektrodami zářivky jsou urychlovány připojením vnějším napětím a mohou excitovat atomy rtuti, které při přechodu do základního stavu vyzaří foton. U luminiscenčních diod dochází k přeměně elektrické energie ve světlo při průchodu proudu v hodném materiálem (luminoforem). Dochází-li k elektrickému náboji luminoforem, excitované elektrony uvolňují svou energii ve formě fotonů – světla. [4]

Fotoluminiscence je jev, který pozorujeme také u zářivek. Tento jev probíhá v luminoforu na vnitřním povrchu trubice zářivky. Foton ultrafialového záření světla, vyzařený při deexcitaci atomů rtuti, excituje atom luminoforu, který pak většinu získané energie opět vyzaří v podobě elektromagnetického záření – v podobě světla. Vlnová délka světla emitovaného luminoforem závisí na konkrétním atomu, který toto světlo emitoval. [4]

#### **Zářivky**

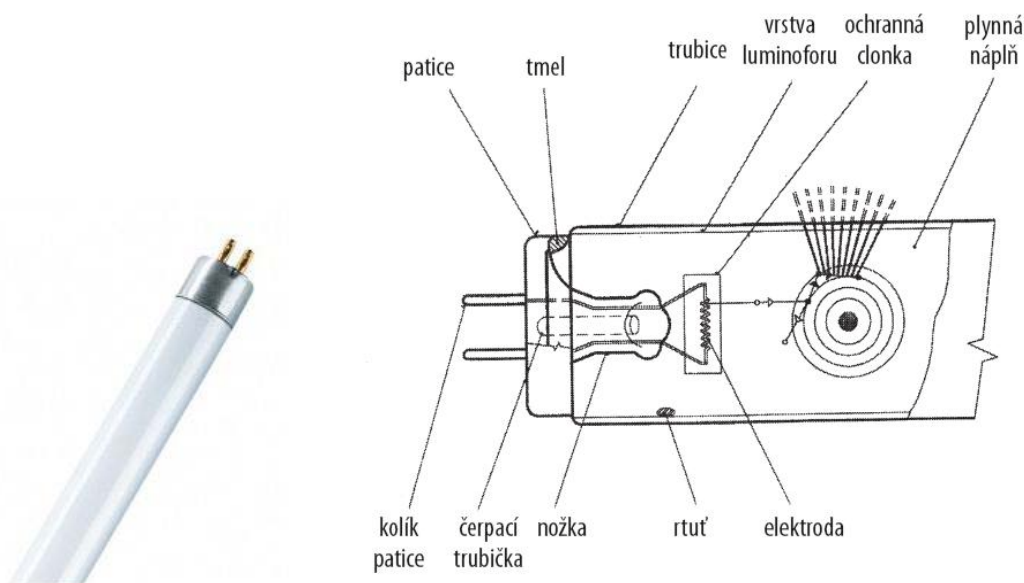
Zářivky jsou nízkotlaké rtuťové výbojky vyzařující především v oblasti ultrafialového záření. Toto se transformuje ve viditelné záření pomocí látky luminofor. Ve skleněné trubici jsou vlivem elektrického pole mezi elektrodami vybuzeny páry rtuti, ve kterých dochází k emisi neviditelného UV záření a tato speciální látka luminofor přeměňuje neviditelné UV záření na viditelné světlo na vnitřním povrchu skleněné trubice. Výběrem luminoforu je pak možno docílit různých barev světla. [13]

Zářivky jsou také prostorově úsporné. Mívají různé odstíny bílé. Jsou velice rozšířené po celém světě. Vyznačují se vysokým měrným výkonem. Doba života zářivek je ovlivněna počtem zapnutí. Při třiceti spínacích cyklech denně může doba jejich života poklesnout až na 50% původní hodnoty. Proto je nevhodné je používat tam, kde dochází k častému zapínání a vypínání. Zářivka spotřebuje přibližně jen pětinu elektrického proudu žárovky se stejným světelným tokem. Své jmenovité hodnoty dosáhnou přibližně po 2 minutách. [13]

#### **Typy lineárních zářivek:**

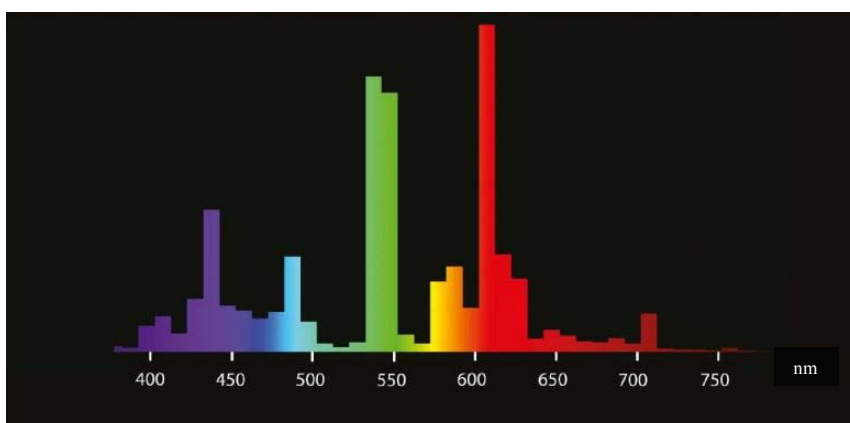
**T8** – průměr 26mm

**T5** – průměr 16mm, vyšší měrný výkon  $\eta = 104 \text{ lm/W}$ , provoz pouze s elektronickými předřadníky, jsou štíhlejší o 40% než T8, tudíž mají vyšší měrný výkon vlivem nižšího stínění odrazných materiálů, úspornější [13]



Obr 9 – Zářivka T5

Obr 10 – Konstrukce zářivky



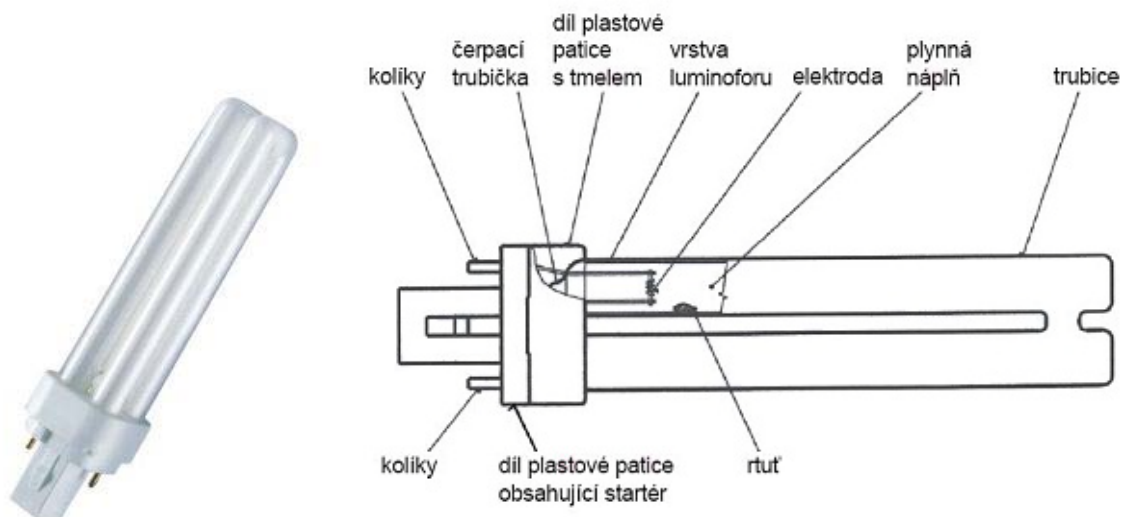
Obr 11 - Spektrum vyzařování barev zářivky; LUMILUX T5 HE 14W/840 (OSRAM)

### ***Kompaktní zářivky***

Kompaktní zářivky jsou charakterizovány v elkým malou spotřebou. Vhodné pro vnitřní osvětlování, chráněny proti vlhkosti, vhodné i jako dekorativní svítidla, neboť vypadají dobře (velká vyzařovací plocha = nízké jasy). Měrný výkon kompaktních zářivek je v porovnání s běžnými žárovkami přibližně o pětinasobek vyšší. Kompaktní zářivky vyrábějí světlo na stejném principu jako zářivky. [13]

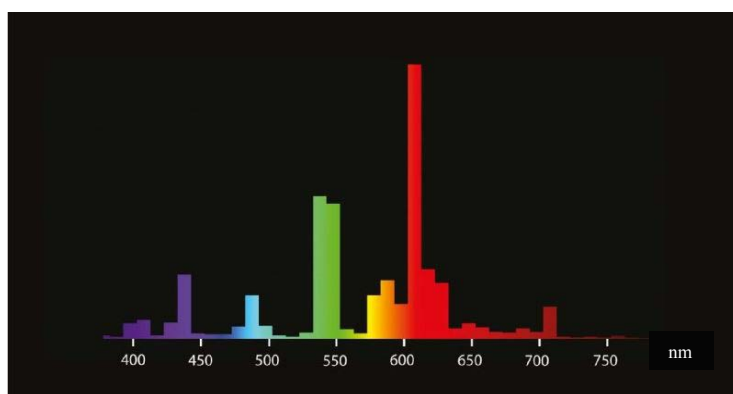
Kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem s teplým st artem zabezpečuje vysoký komfort: To znamená, že před zažehnutím výboje jsou elektrody zářivky 0,5 – 1,5 sekundy předeřáté. Tím se významně snižuje opotřebení elektrod, zážeh je okamžitý, bez blikání. Vysokofrekvenční napájení zajišťuje, že lidské oko nerozpozná chvění světla za provozu, což u možní za mezení stroboskopického jevu. Dále jsou odolné proti častému spínání a m ají de lší dob u ž ivot. Jejich

nevýhodou je však rychlost startu oproti žárovkám. Kompaktní zářivky naběhnou pouze na cca 50% světelného toku po připojení napájecího napětí, proto je nevhodné použít tento světelný zdroj na místech, kde je třeba okamžitý náběh světelného toku a to především v sociálních zařízeních. [13]



Obr 12 – Kompaktní zářivka

Obr 13 – Konstrukce kompaktní zářivky



Obr 14 - Spektrum barev kompaktní zářivky; DULUX D 10 W/827 G24D-1 (OSRAM)

### ***Polovodičové světelné zdroje – LED pro vnitřní osvětlení***

Prvním polovodičovým světelným zdrojem, který se již v oblasti všeobecného osvětlování začal používat, jsou světelné diody (LED). Světelné diody jsou v principu bodové zdroje světla, vhodné především pro směrové osvětlení.

LED (Light-Emitting Diode) je elektronická polovodičová součástka obsahující P-N přechod. Na rozdíl od klasických diod, LED jsou vyráběny s pásmy vyzařování od ultrafialových, přes různá spektra viditelných barev, až po infračervené pásmo. Prochází-li přechodem P-N elektrický proud v propustném směru, přechod vyzařuje (emituje) nekoherentní světlo s úzkým spektrem. Tento jev je

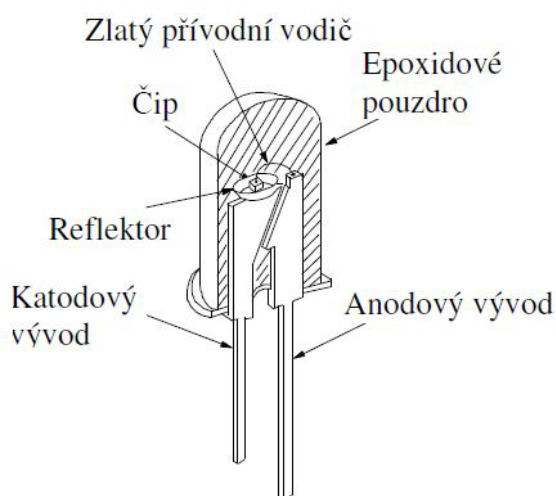
způsoben již zmíněnou elektroluminiscencí. Pásmo spektra záření diody je závislé na chemickém složení polovodiče a použitém materiálu. [17] Grafické znázornění principu funkce LED, viz příloha I.

Měrný výkon světelných diod významně roste každým rokem. V loňském roce přesáhl hranici 130lm/W. V roce 2004 se předpokládalo, že měrného výkonu okolo 150lm/W u sériově vyráběných LED bude dosaženo přibližně v roce 2012. Nicméně letos bylo dosaženo měrného výkonu u bílých LED 160lm/W. Dokladem tohoto sdělení je zpráva firmy Cree z ledna tohoto roku. [18]

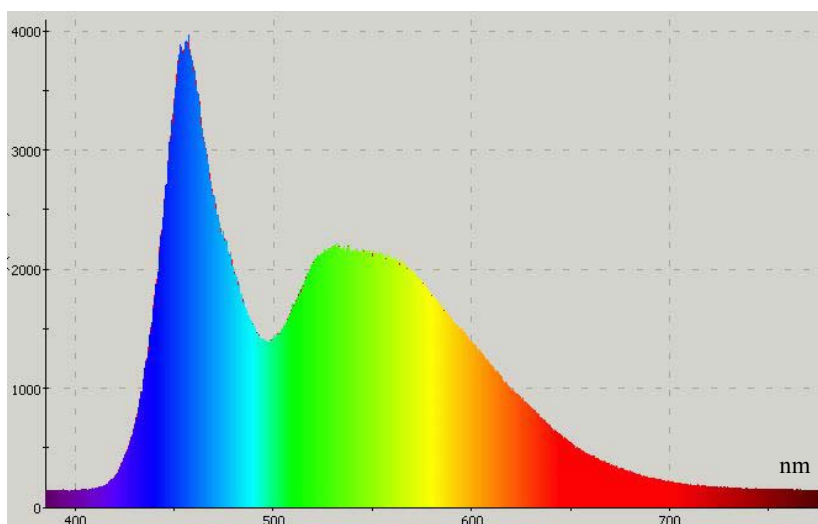
Ukázka různých typů LED dle teploty chromatičnosti viz příloha III.



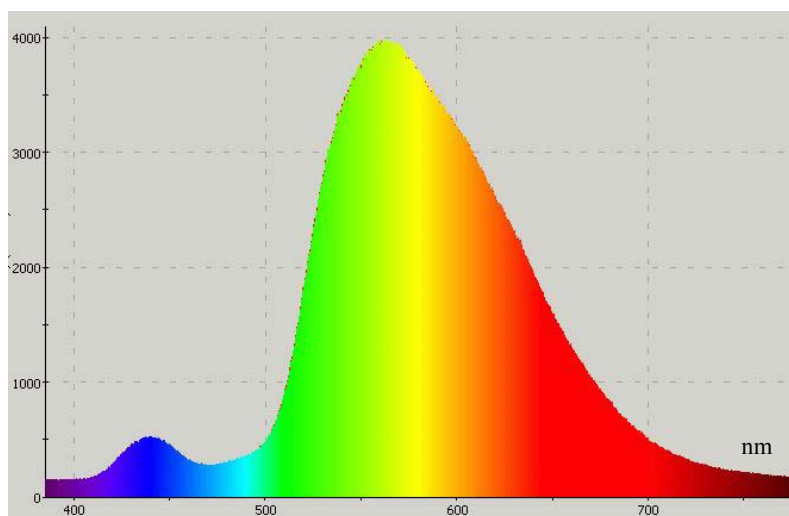
Obr 15 – LED dioda



Obr 16 – Konstrukce LED diody



Obr 17 – Spektrum vyzařování barev studené LED diody [29]



Obr 18 - Spektrum vyzařování barev teplé LED diody [29]

- ***Bílé LED***

Z principu funkce LED vyplývá, že nelze přímo emitovat bílé světlo. K vytvoření požadované bílé LED se dosáhne využitím více barevných LED nebo použitím LED a látky luminoforu. Některé bílé LED emitují modré světlo a tato část světla je přímo na čipu transformována pomocí luminoforu na žluté světlo a díky mísení těchto barev vzniká bílá. Existují také bílé LED, které emitují UV záření, a to je přímo na čipu transformováno luminoforem na bílé světlo. [17]

- ***LED Moduly***

LED Moduly jsou pevné plošné spoje LED diodami propojené vodiči (většinou lanky) do řetězce např. po 20 ks. Většinou bývají zalité v plastovém pouzdře pro dosažení požadovaného stupně krytí proti vodě (např. IP65), ale není to podmínkou. V poslední době se také objevují také výkonové moduly s LED od 1 W a výše, které mají při použití jistá specifika (napájení proudovým zdrojem). Stále se používají i méně výkonné LED moduly s klasickými LED nebo speciálními LED, které mají často i dnes dobré světelné vlastnosti. [5]

Nejčastěji se používají moduly s počtem LED 1 – 4 ks. Barvu světla LED modulu určuje barva vyzařování osazených LED diod. K dispozici je celá škála barev, typicky se používá modrá, červená, zelená, žlutá a různé odstíny bílé. [5]

Výběr vhodného typu LED modulu závisí na účelu osvětlení, na prostředí, kde bude svítit, na optických vlastnostech materiálu, který bude prosvětlovat, na požadované intenzitě a barvě osvětlení. Obvyklým požadavkem je rovnoměrnost svícení celého objektu. Docílit optimálního stavu vyžaduje obvykle experimentování s hustotou osazení LED moduly a vzdálenosti prosvětlované plochy. [5]

Světelné diody jsou sdružovány do již zmíněných LED modulů (obr. 19), které mají výrazně větší jednotkové světelné toky (1 100, 2 000, 3 000 lm). S výměcným charakterem se tyto moduly více



přibližují klasickým světelným zdrojům, kdy výslednou křivku svítivosti svítidla tvoří jeho optický systém, do kterého je světelný zdroj osazen. [11]



Obr 19 - Různé konstrukční verze LED modulů: zleva typ DLM, SLM, Twist (Philips)

U svítidel, která jsou osazena LED moduly, nelze, v e s rovnání s v užitím jednotlivých LED, vytvořit tak přesný tvar křivky svítivosti, avšak umožňují koncentrovat svítící povrch s velkým výstupním světelným tokem na relativně malou plochu. Měrné výkony LED modulů (tab. 1) se v současné době (při srovnatelné teplotě chromatičnosti a indexu podání barev) přibližují měrným výkonům samotných světelných diod 1 a 2 W. Z tabulky 2 lze také vyčíst jejich velmi dobrou hodnotu podání barev, která se pohybuje okolo 80 – 90. [11]

Tabulka 2 – Parametry vybraných LED modulů (3000 K) [11]

Modul	Výrobce	Typ	$R_a$ (-)	$\Phi$ (lm)	$P_m$ (W)	$\eta$ (lm/W)
1 000 lm	Philips	Fortimo	80	1 100	12	92
	Cree	LMR4	90	1 000	15	67
	Tridonic	Stark DLE	90	1 100	14	74
2 000 lm	Philips	Fortimo	80	2 000	24	83
	Osram	PrevaLED	90	2 100	25	84
	Cree	LMH6	90	2 000	27	74
	Tridonic	Stark DLE	90	2 000	27	73
3 000 lm	Philips	Fortimo	80	3 000	44	68
	Osram	PrevaLED	90	3 000	39	77
	Cree	LMH6	90	2 900	37	78
	Tridonic	Stark DLE	90	3 000	41	73

LED moduly od firmy Cree poskytují plně integrované řešení designérům i výrobcům díky jejich vývoji. Pomocí oceněné Cree TrueWhite Technology, Cree LED moduly nabízejí revoluční způsob, jak generovat bílé světlo s LED diodami. To přináší vysokou účinnost s dobrými světelnými vlastnostmi, při zachování konzistence barev po celou dobu života těchto LED modulů. [19]

### ***Integrovaný LMH6 LED Modul***

Cree LED Module LMH Cree TrueWhite Technology je ideální volbou pro veřejné osvětlování, avšak hodí se i pro vnitřní osvětlování, např. v restauracích a maloobchodech, kde je požadované vysoké podání barev, světelný tok a účinnost. [19]



***Vlastnosti:***

Napájení na 230V,  $\phi = 2000\text{-}2900\text{lm}$ ,  $T_{ch} = 3000\text{K} / 4000\text{K}$ , doba života asi 50 000 hodin. [19]



**Obr 20 - LMH6 LED Module**

***Neintegrováný LMH2 LED Modul***

Tento LED modul přináší více než 95 lm světelného toku na jeden watt s kombinací účinnosti  $R_a = 90$  a výše ve všech teplotách chromatičnosti (2700, 3000, 3500, 4000K). Zaručuje pětiletou záruku a je ideální volbou pro umožnění rychlého vývoje LED svítidla, kde je potřeba jasné, přirozené a dlouhotrvající osvětlení. [19]

LMH2 LED modul je k dispozici buď s plochou čočkou, nebo vypuklou plochou čočky, které poskytují různé vzory světelného výkonu umožňující různý design. [19]

***Vlastnosti:***

Více než  $R_a = 90$ ,  $T_{ch} = 2700 - 4000 \text{ K}$ , napájecí napětí 120V, 277V a 230V, možnost stmívání na 5%. [19]



**Obr 21 - LMH2 LED moduly s plochou čočkou a vypuklou čočkou**

Pro všeobecné požadavky a požadavky na bezpečnost pro moduly s elektroluminiscenčními diodami (LED) se můžeme odkázat na normu EN 62031, která se zabývá:

- moduly LED bez integrovaného ovládacího zařízení pro provoz při konstantním napětí, konstantním proudu anebo konstantním příkonu
- moduly LED s vlastním ovládacím zařízením pro použití na jednosměrné napájecí napětí až do 250 V anebo na střídavé napájecí napětí až do 1000 V při 50 Hz nebo 60 Hz

- ***Optická část LED***

Optika je hlavní odvětví fyziky, které zahrnuje chování a parametry světla, obsahuje jejich interakce a konstrukce prostředků, které jsou využívány. [6]

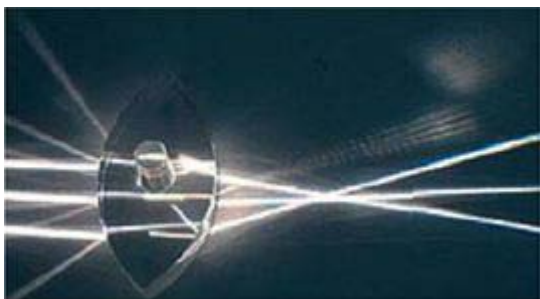
Hlavní funkcí optické části je měnit přenos intenzity světelného toku ze zdroje (zdrojů) a (nebo) rozptylovat světlo, popřípadě měnit jejich spektrální složení. Různá geometrie optických částí tvoří různou intenzitu světla. [6]

**Optické části slouží k:**

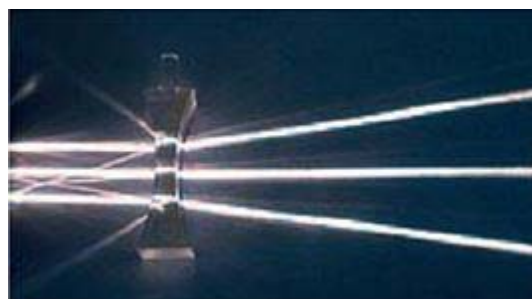
- Regulaci nebo rozptýlení světelného toku
- Redukování jasu svítidla v úhlu, pod kterým vnímáme světlo – omezování záření
- Změně spektra světla vyzařovaného světelným zdrojem – filtrace

**Čočka:**

Čočky jsou optická zařízení s perfektní nebo s přibližnou symetrií, které propouští a odráží světlo, zajišťují zbihání nebo rozbíhání paprsků. [6]

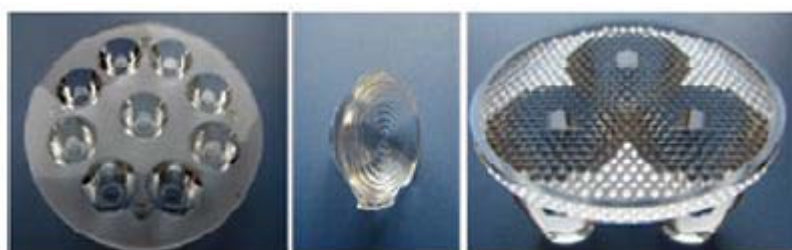


Obr 22 – Spojka



Obr 23 - Rozptylka

Jednoduché čočky jsou tvořeny optickým elementem. Množství těchto čoček je řada jednoduchých čoček (elementů) s běžnou osou. Použití mnohonásobných elementů umožňuje, aby větší optické odchylky byly více usměrňovány než s použitím jednoho elementu. Čočky jsou vyráběny ze skla nebo transparentního plastu. [6]



Obr 24 - Čočky

• **Výhody LED světelných zdrojů**

A protože LED světelné zdroje postupují svým vývojem stále dopředu a jejich parametry jsou rok od roku zdokonalovány, je na místě uvést jejich výhody a nevýhody, které můžou správně nasměrovat zákazníka při zvažování koupi svítidel s LED světelným zdrojem:

- + Vysoká účinnost

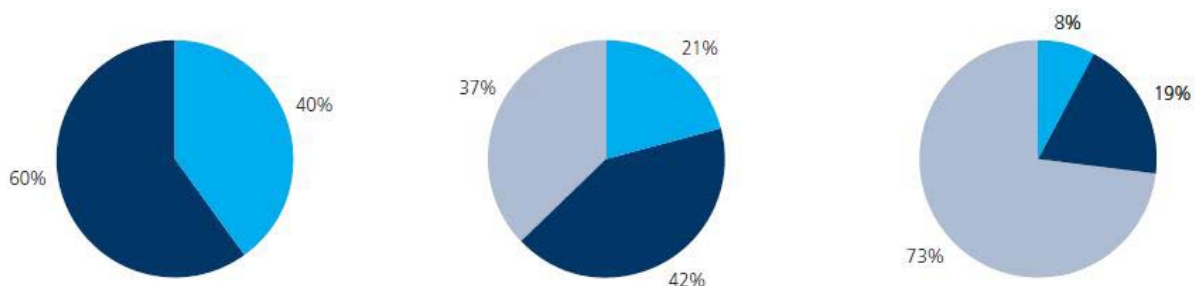
- + Dlouhá životnost: u LED s menšími výkony a dodržení požadovaných provozních parametrů je možno dosáhnout až 100 000 hodin životnosti
- + Okamžité rozsvícení i zhasnutí: hned po zapnutí jsou LED schopny pracovat na plný výkon
- + Možnost stmívání
- + Bez UV a IR záření
- + Odolnost proti vibracím a nárazům
- + Syté barvy
- + Malá velikost a hmotnost
- + Bezpečnost: LED jsou napájeny ze zdrojů s nízkým (řádově několik voltů) napětím a proto jsou z hlediska bezpečnosti před úrazem elektrickým proudem bezpečné
- + Ekologické: neobsahují rtuť a materiály používané pro výrobu LED jsou recyklovatelné a neobsahují tak nebezpečné látky [22]

- ***Nevýhody LED světelných zdrojů***

- Napájecí zdroj: Světelný zdroj LED není možné připojit přímo na síťové napětí. Lze provozovat pouze přes transformátory. U výkonových LED, které jsou zapojeny do série, jsou vyžadovány speciální proudové napáječe se stabilizací proudu. Pro halogenové žárovky je však výhodou, že proudový zdroj může být umístěn až do vzdálenosti 50m od LED.
- Cena: jejich pořizovací cena je oproti běžným zářivkám a žárovkám vyšší a to z důvodu lepších parametrů avšak malým uplatněním v praxi. Předpokládá se, že zvyšováním výroby LED bude také jejich cena klesat. Jistou kompenzací jsou nízké provozní napětí.
- Světelný výkon: I přes mnoho vyhovujících parametrů je nedostatkem jejich nízký světelný tok. Proto se jejich využití osvětlování zaměřuje spíše na dekorativní účely a na místa, kde není třeba stálého pracovního výkonu.
- Příliš velký jas [22]

### **1.2.3 Porovnání měrných výkonů světelných zdrojů**

Všechna světla přeměňují svou elektrickou energii ve světlo a teplo v různých poměrech. Žárovky vyzařují hlavně IR záření, přičemž 8% světla je viditelné. Fluorescentní světelné zdroje vyzařují vyšší podíl světla, což činí přibližně 21% ale také emitují IR, UV záření a teplo. LEDky vytvářejí málo IR záření a převádějí až 40% elektrické energie ve světlo. Zbytek je převeden v teplo, které musí být odvedeno z LED a aktivní plochy k základní vestavěné obvodové desce, k chladicímu systému, plášti a atmosféře. [6] Z tabulky 3 pak můžeme vyčíst rozdíly měrných výkonů světelných zdrojů.



Obr 25 - Diagramy vyzářeného světla v poměru k teplu a radiaci; zleva – LED, zářivka, žárovka

Legenda:

- Teplo odvedené kondukcí a konvekcí
- Viditelné světlo
- Teplo odvedené tepelnou radiací

Tabulka 3 – porovnání měrného výkonu jednotlivých světelných zdrojů

	LED	Zářivka	Žárovka
Měrný výkon [ $\text{lm.W}^{-1}$ ]	130	104	12

### 1.3 Možnosti regulace světelného toku jednotlivých typů světelných zdrojů

Osvětlovací soustavu můžeme regulovat dvěma způsoby:

- **Klasickými spínači** – Jednotlivé okruhy osvětlovací soustavy spínáme vypínači popř. napojením na řízení v závislosti na přítomnosti denního osvětlení či přítomnosti osob. Je to jeden z nejjednodušších principů řízení osvětlovacích soustav. Nutná je však podmínka zachování vyhovující rovnoměrnosti. Rozsah stmívání je obvykle 100% a 50%. Počet regulačních stupňů závisí na počtu okruhů. Hlavní výhodou tohoto řízení jsou nízké investiční náklady. [13]
- **Stmívači** – dosahujeme plynulé regulace osvětlovací soustavy. Existují různé druhy stmívačů – analogové, elektronické - v závislosti na osvětlení a předřadného přístroje. Tyto stmívače můžeme řídit pomocí tlačítek, řídicím systémem nebo dálkovým ovládáním. Povel ke stmívání může být spuštěn z čidla přítomnosti osob, z čidla na denní osvětlení nebo časovým spínačem. Při stmívání se snižuje měrný výkon světelných zdrojů. [13]

Tabulka 4 – Rozsah regulace světelných zdrojů [13]

Světelný zdroj	Rozsah regulace [%]	Poznámka
Žárovky	0 – 100	Snižování $T_{ch}$ [K]
Halogenové žárovky	0 – 100	
Zářivky s konvenčním předřadníkem (tlumivka)	40 – 100	

<b>Zářivky s elektronickým předřadníkem</b>	1 – 100	
<b>Kompaktní zářivky s elektronickým předřadníkem</b>	3 – 100	
<b>Světelné diody (LED)</b>	0 – 100	

### 1.3.1 Možnosti regulace světelného toku u klasické žárovky

- **Základní regulace** – osvětlovací soustavy probíhá přepínáním okruhů, nejčastěji 0%, 50%, 100% - v případě dvou elektrických okruhů. [13]
- **Fázová regulace** – jedná se o regulaci napětím. Systém reguluje světelný tok zdroje snižováním efektivní hodnoty napájecího napětí při zachování amplitudy napětí. Rozsah regulace je od 0% - 100% světelného toku. [13]
- **Amplitudová regulace** – jedná se rovněž o regulaci napětím. Systém reguluje světelný tok světelného zdroje změnou efektivní hodnoty napětí, ke které však dochází změnou amplitudy napětí (přepínání odboček transformátorů). Rozsah regulace je taktéž 0% - 100% světelného toku. [13]

### 1.3.2 Možnosti regulace světelného toku u halogenových žárovek na nízké napětí

U halogenových žárovek je nutné brát v úvahu, že při jejich regulaci se zastaví kruhový proces usazování wolframu. Z tohoto důvodu je nutné zajistit občasné provozování na 100% napájecího napětí tak, aby došlo ke sloučení wolframu s halogenovými prvky uvnitř baňky žárovky. Používají se regulátory určené pro stmívání zdrojů napájených indukčními nebo elektronickými transformátory. [13]

### 1.3.3 Možnosti regulace světelného toku u zářivek s konvenčními předřadníky

- **Základní regulace** – světelného toku soustavy probíhá přepínáním okruhů, nejčastěji d rozsahu 0%, 50% a 100%.
- **Fázová regulace** – rozsah regulace je od 40% - 100% světelného toku [13]

### 1.3.4 Možnosti regulace světelného toku u zářivek se stmívatelnými elektronickými předřadníky

Stmívání zářivek s elektronickým předřadníkem docílíme změnou parametrů (frekvence, napětí) na výboji. U elektronických předřadníků rozlišujeme ovládání analogové a digitální. Pomocí stmívatelných elektronických předřadníků dosáhneme regulace světelného toku u lineárních zářivek od 1% - 100% a u kompaktních zářivek 3% - 100%. [13]

### 1.3.5 Možnosti regulace světelného toku diod (LED)

Nejčastěji se využívá dvou základních přístupů k řízení světelného toku LED, a to řízením proudu světelných diod spojitě. Obecně platí, že čím více proudu protéká diodou, tím více vydá světla. Nejjednodušší a nejčastější způsob nastavení proudu diodou je pomocí předřadného odporu (zapojen v sérii s LED diodou). Druhým způsobem je použití spínacích obvodů pracujících při dostatečně vysokých frekvencích tak, aby oko nerozeznalo pokles svítivosti (PWM – pulsně šířková regulace). LEDkou totiž protékají krátkodobé impulzy proudu, které se přivádějí v daleko vyšší frekvenci, než je lidské oko schopno zachytit, a proto LEDka vypadá jako by trvale svítila. Změnou střidy pak měníme jas. Jedná se o řešení používané zejména v zapojeních s mikrokontroléry. [21]

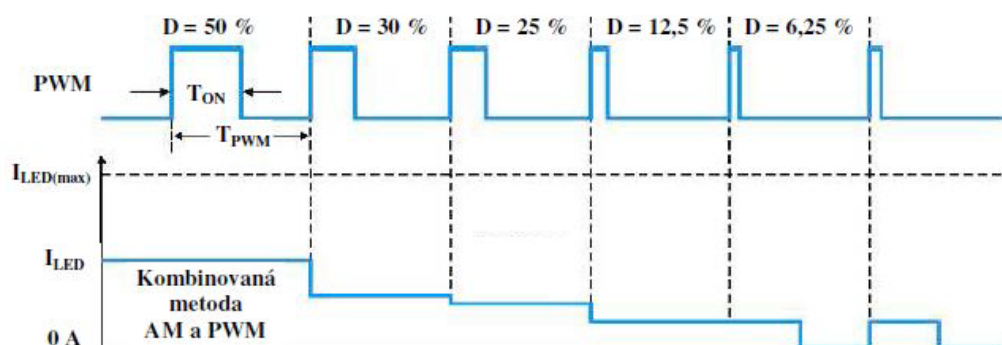
Pro příklad: Máme LEDku, která při 500 mA má světelný tok 150 lm a při 1000 mA svítí 250 lm. Když LEDce se snižuje efektivita se snižujícím proudem. Budeme-li LEDku napájet PWM s pulzy 1:1 o výšce 1000 mA, tak v průměru půjde do LEDky proud 500 mA, ale LEDka bude svítit už jen 125 lm, díky PWM jsme ztratili 125 lm. [25]

Na obr. vidíme princip stmívání pulsně šířkovou modulací neboli PWM. Střední hodnota proudu diodou je určena podílem střidy průběhu PWM a maximálního proudu diody:

$$I_{LED(av)} = \frac{D}{I_{LED(max)}} \quad , \quad [A; -, A]$$

, kde  $D$  je střida  
 $I_{LED(max)}$  je maximální proud procházející LED

Maximální hodnota proudu diod je neměnná, a proto stmívání prostřednictvím PWM poskytuje lineární změny jasů. Jelikož vyzářené spektrum závisí na úbytku napětí, který se mění v závislosti na proudu  $I_F$ , bude náhradní teplota chromatičnosti diod při PWM téměř konstantní. [30]



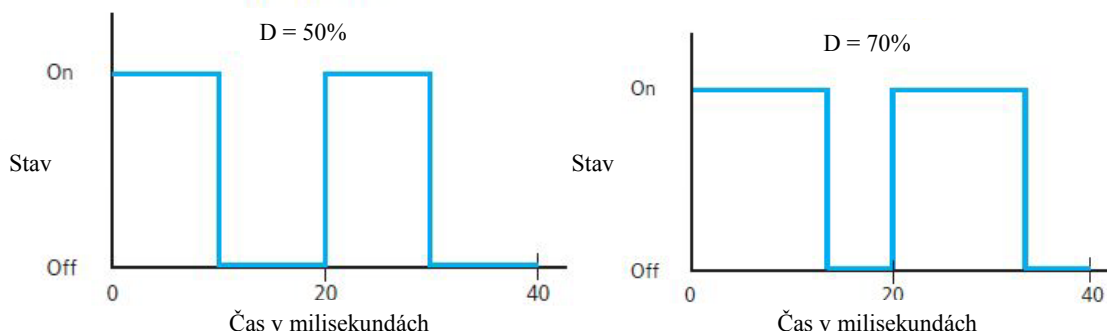
Obr 26 - Pulsně šířková modulace a kombinovaný system AM a PWM

Zvlnění výstupního proudu při použití amplitudové modulace je zmenšeno z důvodu regulování výstupního napětí a následného proudu měničem. Stmívání amplitudovou modulací je však nepřesné v nízkých výstupních úrovních, protože odpovídající napětí jsou tak nízká, že je na ně

necitlivý zesilovač odchylky. Omezovaný jas se nemění lineárně, dochází také ke změně teploty chromatičnosti vydaného záření a zvláště na nízké výstupní úrovni. Častějším způsobem, který se využívá pro stmívání LED diod je kombinace AM a PWM. (obr. 27) [30]

**Výhody PWM:** Stabilizovaná teplota chromatičnosti během celého rozsahu stmívání

**Nevýhody PWM:** při stmívání se může projevit blikající efekt, tzv. flicker efekt. Oko vnímá zrakový vjem integrálně – nejvíce reaguje na kmitočet 8 – 12 Hz (1 Hz = 2 změny). (Existuje také tzv. Talbotův zákon, který platí pro opakující se světelné podněty, které oko vnímá jako jeden nepřerušovaný).



Obr 27 – PWM řízení; 50% a 70%

## 1.4 Ukázka porovnání nákladů na provoz osvětlovací soustavy s LED světelnými zdroji

Pokud se zaměříme na tzv. LED světelné zdroje, dá se říct, že se vskutku vyplatí, a to v mnoha ohledech. Při denním svícení světelného zdroje 2,7 hodiny se dostaneme k jednomu roku u žárovky a 30 letům u LED zdroje. Tento parametr je klíčový především u složitějších a instalací. Nebylo by totiž příliš praktické, aby se po krátkých intervalech měnila celá svítidla či celé instalace. Tento problém tak u LED zdrojů odpadá minimálně po dobu jedné až dvou generací, tedy 20 – 30 let. [20]

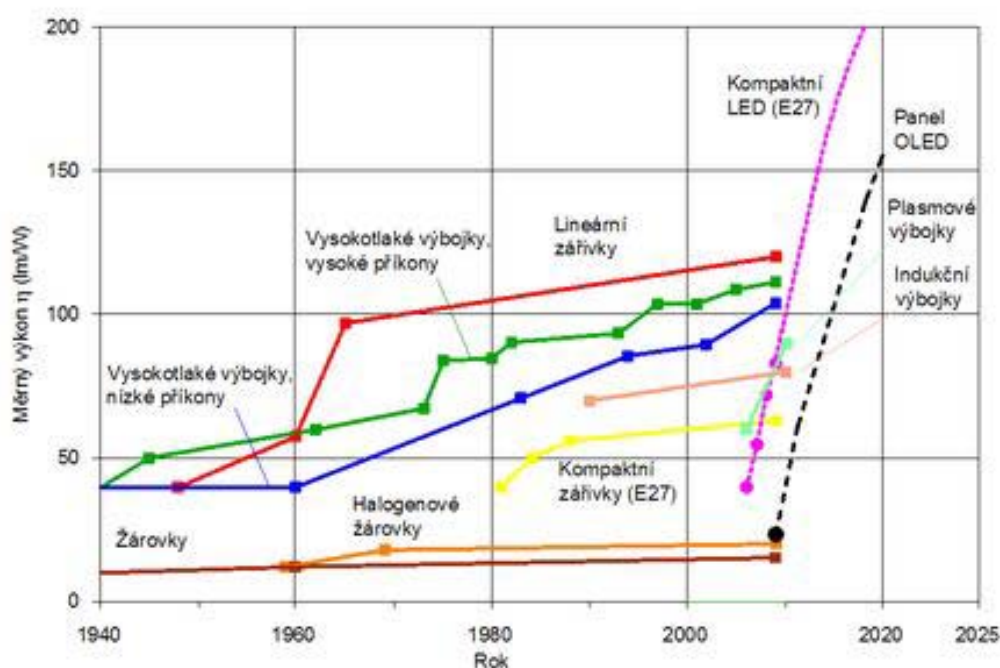
Tabulka 5 - Porovnání světelných zdrojů pro vnitřní osvětlení při průměrné ceně elektřiny v roce 2012 – 4,54 Kč/kWh [20]

	Klasická žárovka	Halogenová žárovka	Kompaktní úsporná zářivka	LED
<b>Spotřeba</b>	60 W	52 W	12 W	9 W
<b>Životnost</b>	1 rok	2 roky	12 let	25 let
<b>Cena světelného zdroje</b>	250 Kč	600 Kč	270 Kč	500 Kč
<b>Náklady na elektřinu za 25 let</b>	6810 Kč	5902 Kč	1643 Kč	1232 Kč
<b>Celkové náklady za 25 let</b>	7060 Kč	6502 Kč	1913 Kč	1732 Kč

## 1.5 Vývojové tendence světelných zdrojů

LED technologie osvětlení představují velice dynamické tempo inovací. V posledních letech se výkon a životnost světelných zdrojů LED zvýšila na takovou úroveň, že mohou v současné době nahradit téměř všechny klasické zdroje osvětlení. [18]

Mezi aspekty, které významně ovlivňují rozvoj světelných zdrojů, patří samozřejmě požadavky na energetickou účinnost provozu. V posledních letech byla v Evropské unii, v Spojených státech, v Austrálii a v dalších zemích přijata řada legislativních opatření obsahujících minimální požadavky na jejich účinnost. Ta se u světelných zdrojů hodnotí veličinou *měrný výkon*  $\eta$  (lm/W), který uvádí jak velké množství světla v lumenech  $\Phi$  (lm) se získá z jednoho wattu elektrického *příkonu*  $P$  (W). V rámci Evropské unie bylo přijato nařízení, podle kterého budou postupně světelné zdroje s nízkými měrnými výkony stahovány z obchodních sítí. Nepodaří-li se v následujících letech zvýšit měrný výkon halogenových žárovek, budou i tyto světelné zdroje staženy z prodeje. [18]



Obr 28 - Vývoj měrných výkonů  $\eta$  (lm/W) u běžně používaných světelných zdrojů pro všeobecné osvětlování

Při hodnocení světelných zdrojů také hrají důležitou roli spektrální vlastnosti, které souvisejí nejen s kvalitou vjemu barev, ale samozřejmě také se zřakovým výkonem. Toto hledisko se sleduje při dnešním vývoji nových typů světelných zdrojů, mezi které patří především polovodičové a bezelektrodové světelné zdroje. Můžeme si uvést jako příklad sodíkové výbojky, které mají sice vysoký měrný výkon, ale za to jejich index podání barev je velmi nízký. Zde je také důvod, proč z hlediska technických parametrů přestanou mít význam, ztratí-li využití v osvětlování. [18]



Ukazuje se, že ani index podání barev nemusí mít výrazný vliv na měrný výkon. V tabulce 6 jsou uvedeny teoretické maximální a prakticky dosažitelné hodnoty měrných výkonů. Prakticky dosažitelná hodnota měrného výkonu, související s účinností přeměny elektrické energie na zářivou, odpovídá 67 % teoretické hodnoty. Údaje v tabulce ukazují, že hodnota pro prakticky dosažitelných měrných výkonů při stejném indexu podání barev se neliší více než o 15%. Při změnách indexu podání barev v rozsahu od 70 – 90 se hodnoty měrných výkonů neliší více než o 5%. [18]

**Tabulka 6 - Teoretické a prakticky dosažitelné měrné výkony  $\eta$  (lm/W) u LED v závislosti na náhradní teplotě chromatičnosti  $T_{cn}$  a indexu podání barev  $R_a$  [18]**

$T_{cn}$ [K]	Teoretická hodnota			Prakticky dosažitelná hodnota		
	$\eta$ [lm/W]			$\eta$ [lm/W]		
	$R_a$ [-]			$R_a$ [-]		
	70	80	90	70	80	90
2700	433	424	416	290	284	279
4100	408	399	390	261	267	261
6500	366	358	349	245	240	234

## 1.6 Možnosti náhrady klasických žárovek LED světelnými zdroji

Tendence nahrazovat klasické žárovky úspornějšími světelnými zdroji zasahuje samozřejmě do oblasti světelných diod. Během konce roku 2009 a v průběhu roku 2010 se začala poměrně rychle zvětšovat nabídka světelných zdrojů LED určených pro náhradu žárovek. Běžně jsou nyní k dispozici zdroje se světelnými diodami (LED) se světelnými toky  $\phi = 400 - 600 \text{ lm}$ , odpovídajícími přibližně tokům žárovek o  $P = 40 - 60 \text{ W}$ . [18]



**Obr 29 - LED pro přímou náhradu klasických žárovek; zleva: Philips, Osram, Sharp, Toshiba**

## 2. Svítidla využívaná ve vnitřních osvětlovacích soustavách

Svítidla jsou zařízení, která rozdělují, filtrují nebo mění světlo vyzařované jedním nebo více světelnými zdroji. Obsahují světelné zdroje, díly nutné k jeho upevnění a ochraně tohoto zdroje a obvody pro připojení k síti.

Svítidla se skládají z následujících konstrukčních prvků: světelně činných, elektrických a mechanických (konstrukčních). [1],[12]

### 2.1 Světelně činné části svítidel

Světelně-činné části slouží ke změně rozložení světelného toku, k rozptylu světelného toku, k zábraně oslnění, snížení jasu, popřípadě ke změně spektrálního rozložení světla. [12]

#### 2.1.1 Svítivost

Značení:  $I = [\text{cd}]$  (kandela)

Svítivost je důležitým parametrem svítidel. Tato veličina udává, kolik světelného toku vyzaří světelný zdroj (popř. svítidlo) do prostorového úhlu  $\Omega$  v určitém směru. Je-li tento úhel malý, mluvíme o svítivosti „v daném směru“. Pro svítidla se udávají křivky svítivosti, což jsou grafy svítivosti v jednotlivých směrech. Její výpočet můžeme vyjádřit následujícím vzorcem:

$$I = \frac{\Phi}{\Omega}, \quad [\text{cd}; \text{lm}, \text{sr}]$$

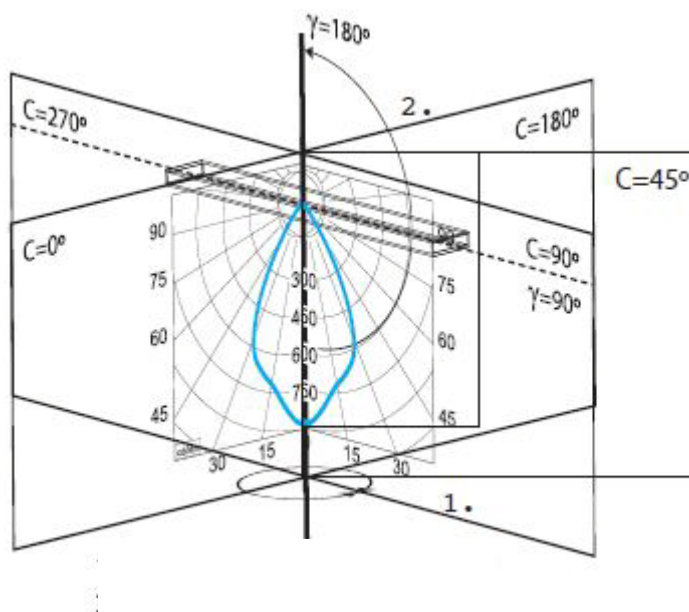
, kde $I$	je svítivost
$\Phi$	je světelný tok
$\Omega$	je prostorový úhel

Měřené hodnoty intenzity světelného zdroje jako bodového zdroje ve všech směrech, jsou přikládány prostoru ze světelného zdroje jako poloměr vektoru. Pospojováním těchto konečných bodů dostaneme fotometrickou světelnou plochu. Je důležité znát určité řezy 3D plochy, především v rozříznuté rovině procházející skrz zdroj. Tímto způsobem dostaneme čáry (křivky svítivosti) v polárních souřadnicích. [12]

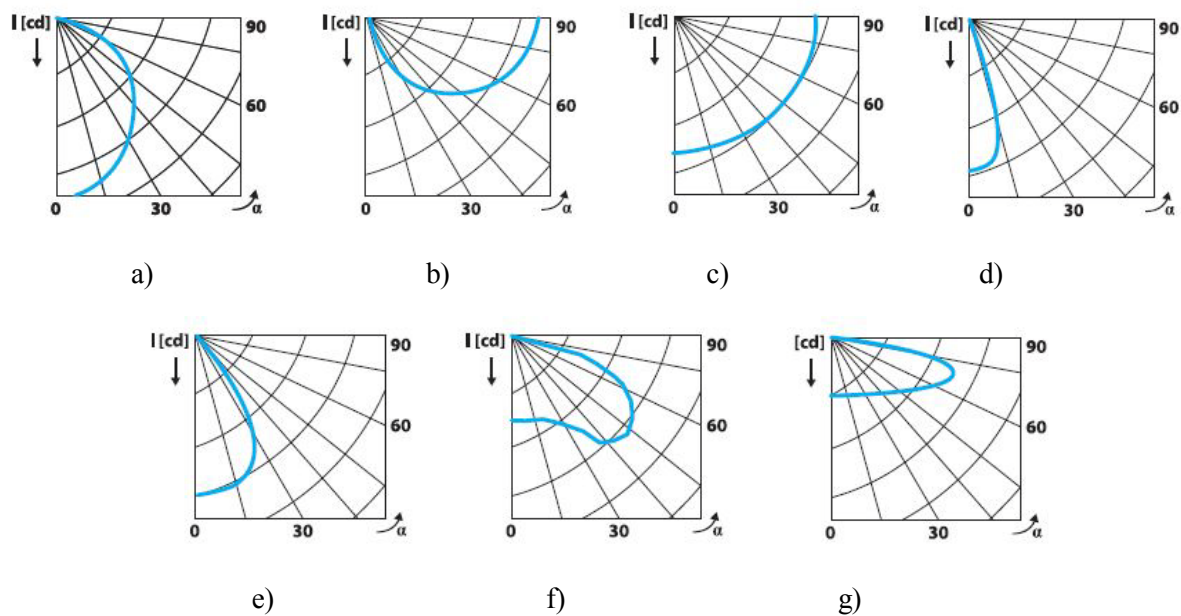
Křivky svítivosti se dají nalézt v katalogových listech svítidel a poskytují tak názornou představu o způsobu šíření světelného toku v prostoru. Z křivek svítivosti můžeme vyčíst např. úhel clonění, směr maximální svítivosti apod. A by se však dala porovnat svítidla s různými světelnými zdroji, jsou křivky svítivosti udávány v katalogích přepočítané na 1000 lm. [12]

Svítivostí se udávají nejčastěji pomocí fotometrického systému C-γ. U svítidel s rotačně symetrickou plochou svítivosti postačí křivka v jedné fotometrické rovině. U zářivkových svítidel se zpravidla udávají dvě křivky a to v rovinách  $C_0$  a  $C_{90}$ . [13]

Prostorové rozložení svítivosti svítidla je souměrné (rotační rozložení) anebo nesouměrné k jedné nebo více axiálním rovinám. [13]



Obr 30 - Řez světelným zdrojem k získání křivek svítivosti

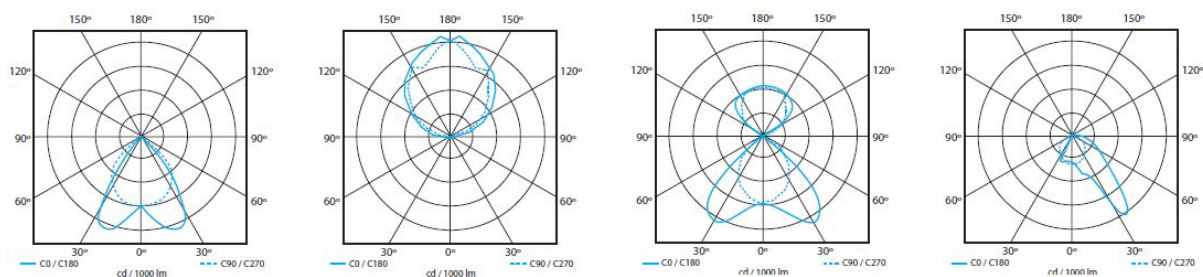


Obr 31 - Typy křivek svítivosti: a) kosinusová, b) bodová, c) rovnoměrná, d) soustředěná, e) hluboká, f) pološiroká, g) široká

## Dělení svítidel dle křivek svítivosti

Po vystižení tvaru křivky svítivosti svítidla se používá činitel tvaru křivky  $K_F$  a úhlové pásmo maximální svítivosti. Činitel tvaru křivky je dán poměrem maximální svítivosti  $I_{max}$  a střední svítivosti  $I_{stř}$ : [13]

$$K_F = \frac{I_{max}}{I_{stř}}, \quad [- ; cd , cd]$$



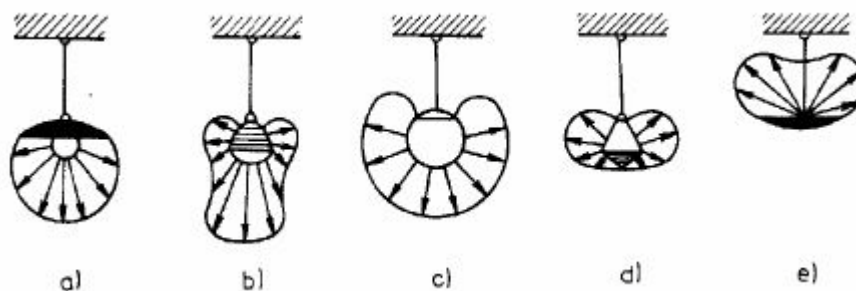
Obr 32 - Základní křivky svítivosti dle směru vyzařování světelného toku, zleva: přímé, nepřímé, částečně přímé, asymetrické

## 2.1.2 Dělení svítidel podle rozložení jejich světelného toku

Rozdělení svítidel podle tvaru křivky svítivosti lze provádět nejen podle činitele tvaru křivky, ale také podle rozložení světelného toku do horního a dolního poloprostoru. [13]

Tabulka 7 – Rozdělení svítidel dle rozložení světelného toku [13]

Označení svítidla	Světelný tok do dolního poloprostoru (%)	Světelný tok do horního poloprostoru (%)	Značení podle DIN 5040
Přímé	90 – 100	0 – 10	A
Převážně přímé	60 – 90	10 – 40	B
Směšené	40 – 60	40 – 60	C
Převážně smíšené	10 – 40	60 – 90	D
nepřímé	0 -10	90 - 100	E



Obr 33 - Rozdělení svítidel dle rozložení světelného toku: a) přímé, b) nepřímé, c) smíšené, d) převážně přímé, e) převážně nepřímé

**Tabulka 8 – Porovnání vlastností osvětlovacích soustav se základními typy svítidel [23]**

<b>Vlastnost</b>	<b>Přímá svítidla</b>	<b>Nepřímá svítidla</b>
Účinnost osvětlení	Vysoká	Nízká
Náklady na osvětlení	Nízké	Vysoké
Rovnoměrnost osvětlení	Nízká, ostré stíny	Vysoká
Oslnění	Hrozí (především odrazem na lesklých stolech)	Vyloučeno

## 2.2 Konstrukční části svítidel

Slouží jako ochranné nebo nosné části světelných zdrojů a ostatních prvků. Chrání před nebezpečným dotykem a proti vniknutí vody. Slouží také k upevnění samotného svítidla. Základní konstrukční díly svítidel jsou: ochranná skla, ochranná mříž, nosná konstrukce, zaostřovací zařízení, závěsy, upevňovací části, vidlice, klouby a stojany pro svítidla. [12]

Požadavky na všechny druhy svítidel:

- *Světelná stálost* – u mnoha materiálů určuje délku života svítidel
- *Teplotní stálost* - provozní teploty na svítidle často dosahují hodnot na hranicích přístupnosti, překročí-li se tyto hodnoty, dochází k trvalým změnám, např. k deformaci, křehnutí, zuhelnění a praskání
- *Odolnost proti korozi* - odolnost kovů proti korozi musí být zajištěna povrchovou ochranou, která také ovlivňuje vzhled a světelně-technické vlastnosti materiálu. Povrchovými úpravami myslíme: lakování, poniklování, pocínování, emailování, pozinkování, kadmiování, nanášení umělých hmot, leštění a eloxování
- *Mechanická pevnost* - míra stability konstrukčních prvků [12]

### 2.2.1 Dělení svítidel dle typu montáže pro vnitřní osvětlení

- závěsná
- zápusťná
- stojanová
- přisazená: stropní  
nástěnná [12]

Více o typech těchto svítidel, jejich rozměry a orientační ceny viz příloha IV.

## 2.3 Elektrotechnické části svítidel

Konstrukční části svítidla slouží k upevnění světelného zdroje a světelně-činných částí, k instalaci elektrických částí, ke krytí světelných zdrojů, světelně činných a elektrických částí, dále před

vníkáním cizích předmětů nebo vody a k ochraně před nebezpečným dotykovým napětím. Svítidla také musí splňovat podmínky jednoduché a snadné montáže, údržby a dlouhého života a spolehlivosti. Patří sem: objímky žárovek (závitové, bajonetové, zářivkové, kolíkové), předřadník, vypínače, zásuvky a vidlice, vnitřní vedení vodiče, připojovací a propojovací svorky, svítidlové krabice, předřadné přístroje, zapalovače a kondenzátory. [12]

### 2.3.1 Předřadník

Může se skládat z jedné nebo více oddělených částí. Obstarává přizpůsobení napájení, eliminuje stroboskopický jev, upravuje účinník a potlačuje rádiové rušení. [12]

Rozlišujeme tyto základní druhy předřadníků:

- *Samostatný předřadník*: předřadník, který může být nainstalován odděleně od svítidla bez přídavného krytu. Může se skládat z vestavěného předřadníku ve vhodném krytu, který zajišťuje potřebnou ochranu
- *Vestavěný předřadník*: předřadník, který je určený jen k zabudování do svítidla, krytu apod.
- *Integrovaný předřadník*: předřadník, který tvoří nevyměnitelnou část světelného zdroje (často používán u LED diod) [12]

### *Předřadníky pro světelné diody*

Zařízení slouží k napájení světelných diod stejnosměrným konstantním proudem či napětím. Obsahují ochrany proti zkratu, přetížení, přepětí a teplotě. Mohou se vyrábět také v regulovatelném provedení s možností regulace tlačítka, potenciometry a v digitálních systémech řízení. Proudové zdroje se pohybují v rozmezí 30 – 1400mA. [12]

### 2.3.2 Řízení inteligentní instalace

Při řízení osvětlovací soustavy je vhodná postupná změna intenzity světla při jeho zapnutí nebo vypnutí. Jakákoliv náhlá změna v osvětlovací soustavě vytváří adaptační šok vidění, a snižuje zrakovou pohodu. Z tohoto důvodu má v osvětlovací soustavě velký význam jak v obytných prostorách, tak i v jiných. Toto je možno dosáhnout velmi jednoduše pomocí automatizovaného systému řízení, který nám dokáže na základě změn stavu oblohy, polohy slunce anebo stanoveného harmonogramu plynule měnit teplotu chromatičnosti. [16]

Řízení světelných zdrojů lze řídit několika způsoby. Mezi nejznámější patří ovládání pomocí analogového signálu 1 – 10 V, nebo pomocí digitálních systémů DALI nebo DMX. Analogově řízené elektronické předřadníky jsou ovládány úrovní řídicího napětí na vstupu předřadníku. Analogový systém však v současné době vykazuje nedostatky, které jsou způsobené ztrátami napětí na delších trasách vodičů. Řízení DMX (*Digital multiplex*) je poměrně rychlé a jeho největší uplatnění je pro divadelní či jevištní osvětlení. [16]

Ovládání DALI (*Digital Addressable Lighting Interface*) je implementované do svítidel nejvíce výrobcí svítidel. Výhodou tohoto řízení je větší odolnost proti rušení. DALI rozhraní má ještě navíc možnost zpětného hlášení nefunkčního světelného zdroje a možnost uložení světelné scény do

paměti přístroje, nejsou tedy zapotřebí další paměťové moduly. Řízení na úrovni běžných uživatelů je dostupná v podobě vypínačů, smartphonů, tabletů i PC. [16]

Velkou výhodou LED světelných zdrojů je jednoduchá možnost řízení světelného toku, barvy světla či jeho teploty chromatičnosti. Použitím vhodného způsobu řízení LED můžeme v obytných prostorách vytvořit jakoukoliv atmosféru. [16]



**Obr 34 - 4-kanálový UNI DIMM kontrolér s maximálním zatížením 16 A na kanál, umožňující jednoduché řízení LED osvětlení analogově, pomocí DMX, 0-10 V nebo dálkově**



**Obr 35 - Řízení osvětlení pomocí a) vypínačů, b) smartphonu**

### **2.3.3 Třídění svítidel dle ochrany před nebezpečným dotykem**

Rozdělení svítidel podle elektrotechnických vlastností odpovídá elektrotechnickým předpisům. Podle ochrany před nebezpečným dotykovým napětím lze v souladu ČSN EN 60 598-1 rozlišit svítidla na třídy:

- **Třída 0** – svítidlo má základní izolaci, tj. nemá prostředky na připojení ochranného vodiče
- **Třída I** – svítidlo má prostředek pro připojení vodivých částí na ochranný vodič
- **Třída II** – svítidlo obsahuje ochranu před nebezpečným dotykem dvojitou nebo zesílenou izolací
- **Třída III** – označuje svítidla na bezpečné napětí

Svítidla musí být konstruována tak, aby jejich živé části nebyly přístupné v případě, že svítidlo je instalováno a připojeno pro normální používání a ani v případě, kdy je svítidlo otevřené za účelem výměny světelných zdrojů nebo předřadníků. Musí být zajištěna ochrana před úrazem elektrickým proudem při všech způsobech montáže a polohách svítidla. [13]

Důležitou vlastností svítidla je stupeň krytí. Vyjadřuje se písmenovou značkou IP (*Ingress Protection*) a dvojciferným číslem. První číslo je v rozsahu 0 – 6 a vyjadřuje stupeň ochrany před vniknutím cizích předmětů a před dotykem. Druhé číslo je v rozsahu 0 – 8 a vyjadřuje stupeň ochrany před vniknutím vody. Běžné příklady stupně krytí:

IP00 – bez ochrany

IP20 – svítidlo s otvory většími než 12,5 mm

IP54 – částečně prachotěsné

IP65 – úplně prachotěsné

IP68 – maximální stupeň krytí, odolává i při ponoření do vody v určité hloubce [10]

## 2.4 Aplikace LED svítidel ve vnitřních pracovních prostorech

Vývoj v oblasti světelných zdrojů LED způsobil velký zájem veřejnosti o použití tohoto druhu technologie pro osvětlování. Spojením pozitivních vlastností LED s kreativitou designéra se vytváří široká variabilita použití. [16]

Osvětlení v obytných prostorech má v současnosti díky novým technologiím téměř neomezené možnosti. Končí doba klasických elektroinstalací. Nové technologie nám umožňují soulad, pohodu a estetiku v každém prostoru a podle představ a potřeb uživatele. [16]

Denní osvětlení je ideálním osvětlením a snahou je takovéto osvětlení dostat i do vnitřních prostorů a tím zabezpečit správné biologické funkce lidského těla stejně tak jako psychologickou pohodu. Celodenní práce při umělém osvětlení v pracovních prostorech, je podněcována k dosažení maximální produktivity, aby nedošlo ke stresu a disfunkčnosti pohody. [16]

V případě diodového osvětlení byl největší problém dosáhnout rovnoměrnosti osvětlení z jediného svítidla. Výrobci řešili problém odstranění kontrastních polí v prostorech optickými komponentami anebo osvětlováním přes odraz světelného toku na optických částech svítidla, příp. stropě, tj. využití nepřímého osvětlení. Technickým řešením je i použití průsvitných materiálů různých výrobců. Světelné zdroje jsou umístěny za optickou částí. [16]

### 2.4.1 LED svítidla v interiérech

LED světelné zdroje jsou do interiérů nasazovány jako kompletní sety umístěné ve svítidlech.

#### ***LED downlighty***

Nejpoužívanější jsou dnes LED downlighty, které prošly v posledních letech velkým vývojem a přiblížily se tak běžným spotřebitelům i v nižších cenových relacích. [16]



Svítlidla LED downlight jsou vhodná všude tam, kde je potřebné svítidlo zapuštěné do stropu. Svoje uplatnění proto najdou jako osvětlení obchodních center, obchodů, kancelářských prostor, chodeb a podobně. [16]



Obr 36 – LED downlight

#### ***Výhody LED downlightů***

Bezúdržbový provoz, díky kterému se ušetří na výměnách zdroje a významná úspora elektrické energie jsou největšími výhodami této LED alternativy. Okamžitý náběh na plný výkon, bezproblémové opětovné zapnutí a schopnost odolávat výkyvům napětí v síti jsou dalšími výhodami. LED downlight nabízí úsporu 50 – 90 % oproti konvenčním svítidlům zapuštěným do stropu v závislosti od použitého zdroje. [24]

#### ***LED spotlighty***

Osvětlení pomocí spotlightů neboli reflektorů, je běžnější pro venkovní osvětlení, avšak i pro vnitřní osvětlení najdou využití například pro osvětlování šatníků nebo k osvětlování obchodních prostorů. [16]



Obr 37 – LED spotlight

#### ***Výhody LED spotlightů***

K výhodám tohoto osvětlení můžeme zařadit velkou intenzitu osvětlenosti prostoru.

#### ***LED pásky***

LED pásky jsou využívány v oblasti moderního a úsporného osvětlení. Vyznačují se vysokou pružností a samolepící vrstvou, pomocí níž lze zařízení snadno instalovat. Po jedné straně těchto

plochých pásků jsou pak připevněny jednotlivé LED diody (často v SMD provedení). Jedná se o způsob, jak spojit úchvatnou dekoraci s úsporou energie a řadou praktických výhod. [7]

Z hlediska využití jsou LED pásky velice flexibilní a to díky tomu, že jsou k dostání v mnoha rozměrech, jak v různých šířkách, tak v různých délkách. Z metráže je pak obvykle možné požadovanou délku odstříhnout na výrobcem předem určeném místě. Nijak tedy nehrozí omezení funkčnosti pásku. [7]

Na trhu také existují vodotěsné modely, které mohou svítit dlouhodobě ponořeny, ale hodí se také i jako velmi originální a zároveň bezpečné osvětlení koupelen nebo krytých bazénů. Často lze LED osvětlení v podobě pásku využít jako dekorativní prvek; nasvícení výloh a jednotlivých produktů ve výloze. [7]

V obytných prostorech je možné například osvětlit těmito LED pásky kuchyňskou linku. Kromě neobvyklého a estetického vzhledu takové kuchyně LED pásek přináší i celou řadu praktických výhod. Díky minimální spotřebě se může nechat svítit LED pásek celou noc. Stejným způsobem lze vybavit i již zmíněnou koupelnu nebo WC. Toto decentní noční osvětlení ocení například i děti, které se samy po tmě bojí. Pro zvýšení bezpečnosti zejména u starších lidí v rodinných domech se hodí osvětlení schodů. [7]

Velmi často jsou ve svítidlech používány RGB LED. Využívají se i LED svítidla pro stimulaci organismu osvětlením v podobě dvojice čipů s barevným tónem světla teplým a studeným. Smícháním tak vznikne požadovaná barva světla. [16]



Obr 38 - LED pásky, např. pro osvětlování kuchyňských pracovních desek

### ***Výhody LED pásků***

Jednoznačnou předností LED pásků je flexibilita a jejich využití a dále úspornost samotných LED diod, jimiž je pásek osazen. Jistý komfort přináší rovněž modely, které jsou opatřeny samolepící vrstvou. [7]

### ***Světelné stropy s LED***

Velmi praktickým typem osvětlení jsou světelné stropy, ve kterých jsou využívány LED ve formě pásů, případně LED polí, které osvětlují materiály s vysokou propustností vyzařovaného světelného toku, který je ve velmi malé míře pohlcován. Výstup světelného toku ze svítidla má kosinový vyzařovací charakter. Optická plocha svítidla působí jednotné osvětlení, přičemž uživatel není oslňovaný vysokým jasnem. Při tomto typu osvětlení se ukazuje variabilita LED osvětlení, které je

prakticky vytvářené na míru uživateli. Tato moderní alternativa ke vzhledem ke klasickému osvětlení má vlastní jedinečný systém konstrukce, který se dá instalovat i do již zařízených prostorů. [8]



**Obr 39 - Kruhový světelný strop s LED světelnými zdroji**



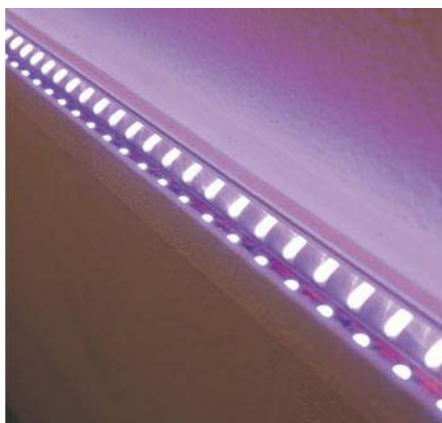
**Obr 40 - Čtvercový světelný strop s LED světelnými zdroji**

### ***Výhody světelných stropů s LED***

Světelné stropy přizpůsobí světlo požadavkům spotřebitele. Navíc rozkládají světlo rovnoměrně po celé ploše díky speciálnímu traslucetnímu materiálu, ze kterého jsou vyráběny. Výhodou světelných stropů je i to, že je možné nastavit libovolnou barvu světla ve stropě, a to s vynikající intenzitou a sytostí barvy. Další předností je možnost různých tvarů a velikostí, stejně tak barev a teplot chromatičností. Ohledně instalace jsou možná různá uchycení. [9]

### ***Světelné římsy s LED***

Velmi vhodný způsob osvětlení, které je cenově i designově výhodné, je využití LED v uměle vytvořených stropních římsách v interiérech. Světelné zdroje jsou tak umístěné v římsách a vytvářejí difúzní osvětlení místnosti odrazem. [16]



Obr 41 - Světelná římsa s RGB LED

### ***Výhody světelných říms s použitím LED***

Hlavní předností tohoto osvětlení je osvětlení díky odrazu a tudíž tak nedochází k přímému oslnění velkými jasy ze svítidla. K jejich výhodám také samozřejmě patří i jejich efektivnost a praktičnost.

## **2.5 Možnosti zvyšování účinnosti svítidel**

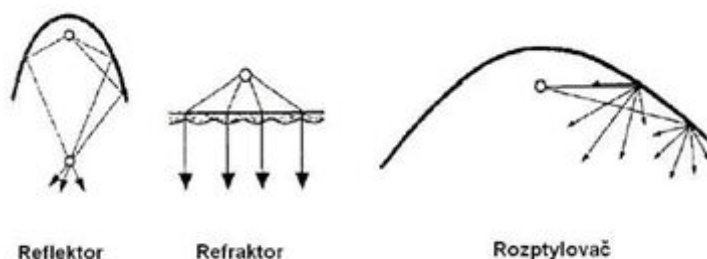
Účinnost svítidla lze zvýšit jednak zlepšením optických vlastností jeho světelně činných částí (především jejich vyšší odrazivosti), jednak kladením menšího množství překážek do cesty světelného toku  $\phi$  a jeho menším směřováním (nejvyšší účinnost má holý zdroj v objímce). Je zřejmé, že druhý způsob zvyšování účinnosti svítidla se rychle dostává do rozporu s požadavky na zábranu oslnění. [23]

Účinnost svítidla sama o sobě má však ve vztahu k celkové účinnosti osvětlovací soustavy poměrně malou vypovídací schopnost. Uživatelé totiž nezajímá ani tak světlo, které opustí svítidlo, ale především ta část, která dopadne do užitečných míst a osvětlí je. Není platné mít svítidlo s vysokou účinností, pokud je jeho světelný tok směřován do s tropu, kde bude při odrazu neúčinně pohlceno minimálně 20% světla. [23]

### **2.5.1 Usměrnování světelného toku**

U většiny svítidel se k usměrnění světelného toku používají následující principy (viz obr. 42):

- Reflektor
- Refraktor
- Rozptylovač



Obr 42 - Základní typy světelně aktivních ploch

### ***Reflektor***

Odráží světlo ze směrů, do kterých svítidlo nemá svítit a směřuje je do požadovaného směru pomocí zrcadlového odrazu (reflexe). Při pohledu na svítidlo je reflektor pro diváka za světelným zdrojem. K zrcadlovému odrazu se využívá vysoce čistý hliník Al (99,8%) s povrchovou úpravou zaručující odrazivost až 98% (ALANOD – MIRO SILVER; vrstva nejčistšího stříbra vyrobená ve vysokém vakuu v kombinaci s vrstvami pro zlepšení odrazivosti, světlo se může odrazit prakticky beze ztrát). [13]

Pro navrhování reflektorů je nejdůležitější, kromě volby vysoce odrazných materiálů, také kvalitní tvarování reflektoru. Toto tvarování souvisí s minimem počtu odrazů světelného paprsku na reflektorové ploše, zamezení zpětného odrazu světelného paprsku směrem do světelného zdroje a také s jeho distribucí do místa zřakového úhlu. [13]

### ***Refraktor***

Usměrnjuje a rozptyluje světlo zdroje do požadovaných směrů a snižuje jas zdroje na přijatelné hodnoty. Využívá jevu refrakce – lomu světla. Refraktorem bývají různá tvarovaná, průhledná, rastrovaná skla, baňky, kotouče, mezikruží, mřížky. Při pohledu na svítidlo je refraktor mezi divákem a světelným zdrojem. Z nejpoužívanějších materiálů je vhodné zmínit PMMA (polymetalakrylát), který má sice vysokou propustnost, ale ne zcela vyhovující mechanické vlastnosti. Z tohoto důvodu je nejčastěji používán PC (polykarbonát) jehož propustné vlastnosti jsou o cca 10% horší, zato jeho mechanické vlastnosti pro konstrukci svítidel jsou mnohem příznivější.

Při návrhu svítidel s refraktory je nutné také dbát na to, aby světelný paprsek urazil co nejkratší cestu, tudíž refraktor by pokud možno měl být umístován kolmo na dopadající paprsky jdoucí ze světelného zdroje.

Účinnost refraktorových svítidel je poněkud nižší než účinnost svítidla s reflektorovým usměrněním světelného toku. [13]

### ***Rozptylovač (difuzor)***

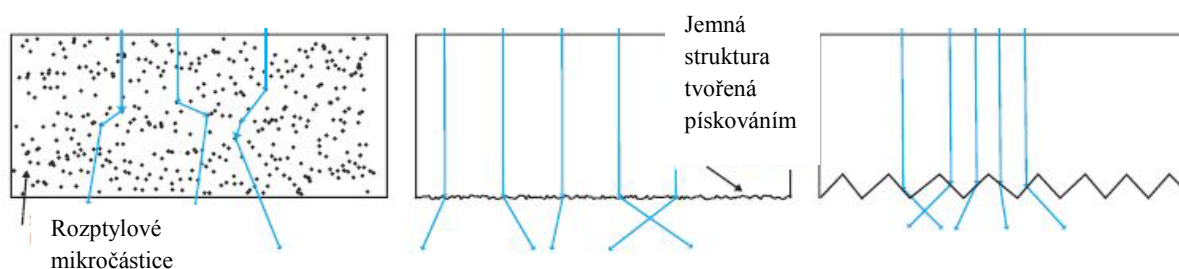
Rozptyluje světelný tok tak, aby svítlo jako plošný zdroj světla. Využívá se difúze – rozptylu světla. Zpravidla je rozptylovač konstruován jako kryt z opálového (mléčně zakaleného) skla nebo plastu. Úplně zakrývá světelné zdroje a často má za úkol také chránit světelný zdroj před mechanickým poškozením, znečištěním a vlhkostí. Stejně jako u zrcadlového odrazu se k těmto

účelům používá vysoce čistý hliník (99,8%) s povrchovou úpravou vytvářející difúzní odraz (materiály, které difúzně odrážejí 60 – 90% dopadajícího světelného toku a zbytek zrcadlově). [13]

Tyto svítidla pak vykazují rovnoměrný jas a neoslňují.

Podle materiálu, který zajišťuje rozptyl světelného toku, se dělí difuzéry na následující typy:

- Opálový difuzor
- Gaussův difuzor
- Prizmatický difuzor



Obr 43 - Typy rozptylovačů dle materiálu rozptylující světelný tok

U Gaussového difuzoru je křivka svítivosti více přímá než u opálového difuzoru.

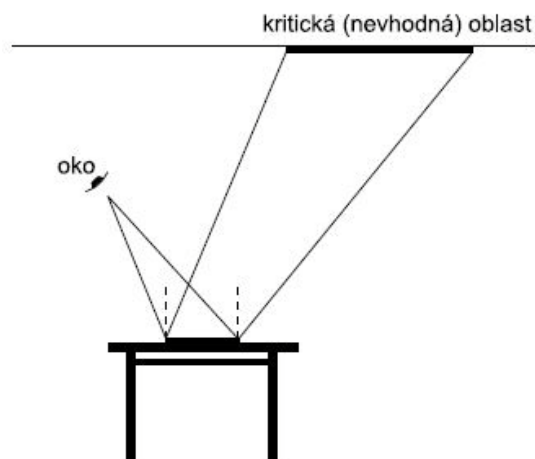
Prizmatické difuzory jsou využívány ve svítidlech, kde je požadována vysoká kvalita světla, především, co se týče podání barev. [6]

## 2.6 Zábrana oslnění

Oslnění zásadním způsobem ovlivňuje zrakovou pohodu. Přímé oslnění vzniká při přímém pohledu na obvykle velmi jasný světelný zdroj. Proto se svítidla zavěšují dostatečně vysoko nebo se používají vhodně upravená svítidla. Světelný zdroj by nikdy neměl vyčnívat ze stínítka. Číselnou charakteristikou, která udává, do jaké míry svítidlo brání přímému oslnění, je úhel clonění. [23]

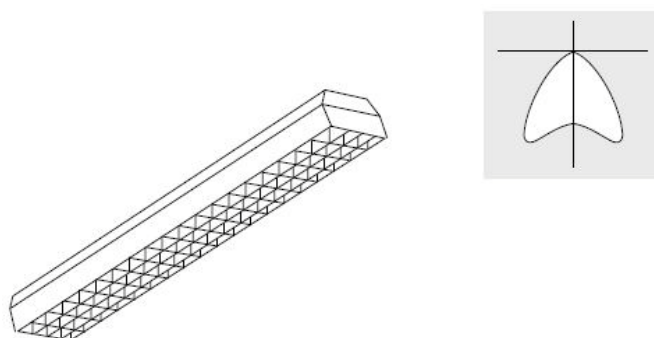
Dále může dojít k oslnění odrazem. To je způsobeno odrazem světla od stropů, stěn, od desek stolů a dalších povrchů v zorném poli. Velký jas může vzniknout zejména tehdy, jsou-li plochy hladké nebo zrcadlově lesklé. Jas způsobený odrazem světla často unavuje více než jas přímý, zvláště pak, je-li přímo ve směru pohledu a oko se mu nemůže vyhnout. Oslnění odrazem je možno bránit následujícími opatřeními:

- Svítidla umístíme tak, aby nedocházelo k odrazu přímého světla světelných zdrojů do oka pozorovatele. Při zrakové činnosti na stole se většina směrů pohledu vyskytuje v úhlech od 0°-40° od sv. islice. Nejvíce se vyskytuje směr pohledu pod úhlem 25°. Na tomto základě lze konstruovat kužel, ve kterém se nachází kritická (nevhodná) oblast umístování svítidel (viz obr. 44). [23]



Obr 44 - Nevhodná oblast pro umístění svítidel

- Použijeme svítidla s křivkami na obr. 45 s maximem svítivosti v oblasti úhlů 40°- 50° od svislice, která se umístí vedle pracovních míst a nikoli nad nimi. [23]



Obr 45 - Svídlo s parabolickou mřížkou - přímé

### Úhel clonění

Značení:  $\delta = [-]$

Význam: Úhel clonění nám udává míru zaclonění světelného zdroje svítidlem, tj. jeho zakrytí přímému pohledu pozorovatele. Je to nejmenší ostrý úhel mezi vodorovnou rovinou a přímkou spojující okraj svítidla se světelným zdrojem. U čiré žárovky je to její vlákno, u opálové zářivky nebo výbojky je to povrch baňky. Úhel clonění lze vypočítat dle vztahu:

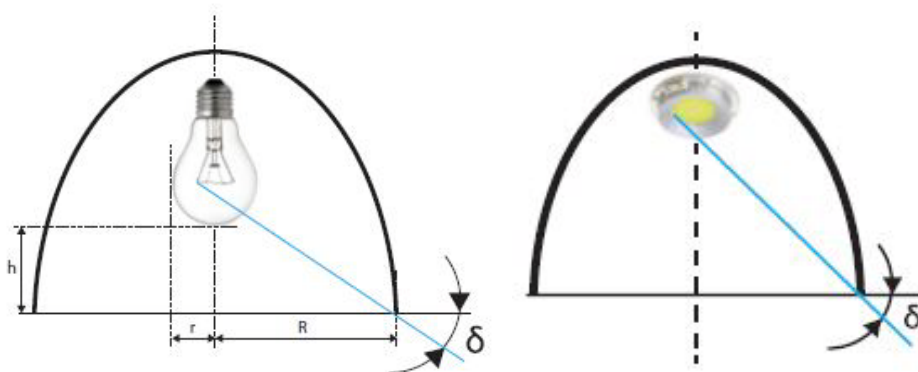
$$\delta = \arctg \frac{h}{R+r}, \quad [-; \text{m, m, m}]$$

, kde  $h$   
 $R$

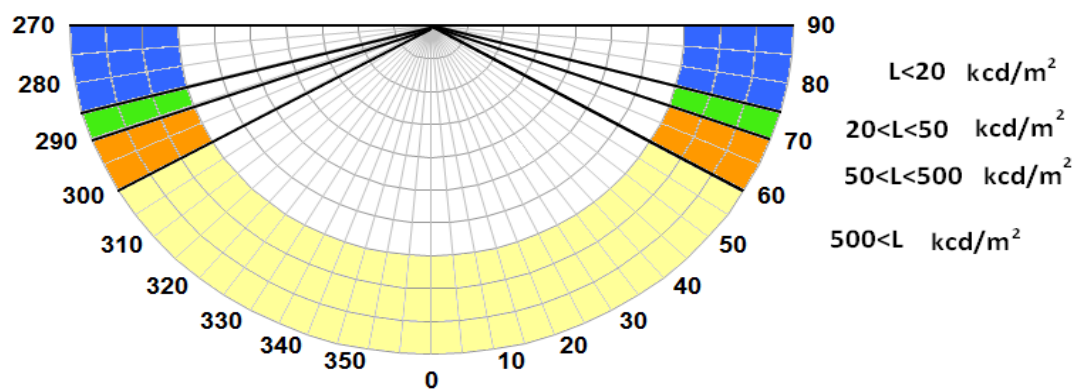
je výška od světelného zdroje ke konci reflektoru  
je poloměr od okraje reflektoru ke středu světelného zdroje



$r$  je poloměr světelného zdroje [12],[13]



Obr 46 - Úhel clonění u svítidel



Obr 47 - Úhel clonění pro různé jasy svítidel



### **3. Osvětlovací soustavy vnitřního osvětlení a normativní požadavky**

Aby lidé mohli vykonávat zrakové úkoly účinně a přesně, musí jim být poskytnuto přiměřené a správné osvětlení. Úroveň viditelnosti a pohody požadovaná pro velké množství pracovních prostorů závisí na druhu a době trvání činnosti.

Následující kapitoly pochází z evropské normy ČSN EN 12464-1 doplněné o specifické požadavky na osvětlení z roku 2011. Tyto normy nahradily normy EN 12464-1 z roku 2002.

Norma stanovuje požadavky na osvětlení pro vnitřní pracovní prostory z hlediska zrakové pohody a zrakového výkonu osob s normálním zrakem. Specifikuje požadavky na řešení osvětlení pro většinu pracovních a přílehlých prostorů z hlediska intenzity a jakosti osvětlení. Zde budou uvedeny jen ty nejdůležitější kritéria pro tuto bakalářskou práci.

#### **3.1. Kritéria pro navrhování osvětlení dle normy ČSN EN 12464-1**

Požadavky na osvětlení jsou určeny uspokojením tří základních lidských potřeb:

- Zrakové pohody, když se cítí pracovníci velmi dobře; to nepřímo přispívá k větší produktivitě a kvalitě práce
- Zrakového výkonu, jsou-li pracovníci schopni vykonávat zrakové úkoly i při obtížných podmínkách a během dlouhé doby
- Bezpečnosti [15]

Hlavní parametry určující světelné prostředí:

- Rozložení jasu
- Osvětlenost
- Směrovost světla, osvětlení ve vnitřním prostoru
- Variabilita světla (úrovně a barvy světla)
- Podání barev a barevný tón světla
- Oslnění
- Míhání světla [15]

Vedle osvětlení existují další zrakové ergonomické parametry, které ovlivňují zrakový výkon jako:

- Vlastní parametry zrakového úkolu (velikost, tvar, poloha, barva a činitel odrazu detailu a pozadí)
- Oční kapacita (zraková schopnost), stav zraku zrakové funkce osoby (zraková ostrost, vnímání hloubky (prostoru), vjem barev)
- Apod. [15]

##### **3.1.2 Rozložení jasu**

Rozložení jasu v zorném poli určuje úroveň adaptace zraku, která ovlivňuje viditelnost úkolu. Velmi dobře vyvážený adaptační jas je potřebný ke zvýšení:

- Zrakové ostrosti (ostrosti vidění)
- Kontrastní citlivosti (rozlišení malých poměrných rozdílů jasu)
- Účinnosti zrakových funkcí (akomodace, konvergence, zmenšování zornice, očních pohybů atd.)

Rozložení jasu v zorném poli ovlivňuje také zřakovou pohodu. Z tohoto důvodu je zařídit, aby nedošlo k příliš velkým jasům, jež vedou k oslnění, dále k velkým kontrastům jasů, které mohou způsobit únavu zraku. Také jsou nežádoucí nízké jasy, které vedou k monotónnímu pracovnímu prostředí. [15]

K vytvoření vyváženého rozložení jasů všech povrchů musí být vzaty v úvahu a tudíž i určeny činitele odrazu a osvětlenosti povrchů. K zabránění přitížení a ke zvýšení adaptační úrovně a pohody osob v budově jsou velmi žádoucí světlé povrchy interiéru zvláště stěn a stropu. [15]

### ***Činitele odrazu povrchů***

Projektant osvětlení musí zvažovat a volit vhodné činitele odrazu a hodnoty osvětlenosti vnitřních povrchů podle těchto doporučení. [15]

Doporučený rozsah činitelů odrazu hlavních rovnoměrně rozptýlných povrchů místnosti:

- strop 0,7 - 0,9,
- stěny 0,5 - 0,8,
- podlaha 0,2 - 0,4.

Činitel odrazu hlavních předmětů (např. nábytku, strojního vybavení apod.) má být v rozsahu 0,2 až 0,7. [15]

### ***Osvětlenost povrchů***

Ve všech ohraničených uzavřených prostorech musí udržovaná osvětlenost hlavních povrchů mít tyto hodnoty:

- $\bar{E}_m > 50 \text{ lx}$  při  $U_o \geq 0,10$  na stěnách,
- $\bar{E}_m > 30 \text{ lx}$  při  $U_o \geq 0,10$  na stropu.

V některých ohraničených uzavřených prostorech jako v kancelářích, ve vzdělávacích a zdravotnických zařízeních a společných vstupních prostorech, na chodbách, schodištích atd. je třeba, aby stěny a strop byly světlejší. Doporučuje se, aby udržovaná osvětlenost na hlavních površích měla tyto hodnoty:  $\bar{E}_m > 75 \text{ lx}$  při  $U_o \geq 0,10$  na stěnách a  $\bar{E}_m > 50 \text{ lx}$  při  $U_o \geq 0,10$  na stropu. [15]

### **3.1.3 Osvětlenost**

Osvětlenost a její rozložení v místě zřakového úkolu a v jeho bezprostředním okolí mají velký vliv na to, jak rychle, bezpečně a pohodlně osoba vnímá a vykonává zřakový úkol. [15]

#### ***Řada osvětleností***

Doporučená řada osvětlenosti poskytující vnímané rozdíly (v luxech) je podle EN 12665:

20 – 30 – 50 – 75 – 100 – 150 – 200 – 300 – 500 – 750 – 1 000 – 1 500 – 2 000 – 3 000 – 5 000

## ***Osvětlenosti zrakového úkolu***

Průměrná osvětlenost pro každý zrakový úkol nesmí klesnout pod normou zadanou hodnotu bez ohledu na stáří a stav osvětlovací soustavy. Tyto hodnoty platí pro normální zrakové podmínky vidění a při zohlednění těchto činitelů:

- psychofyzilogických hledisek jako zrakové pohody a celkové pohody,
- požadavků na zrakové úkoly,
- zrakové ergonomie,
- účelné bezpečnosti, provozní bezpečnosti
- hospodárnosti.

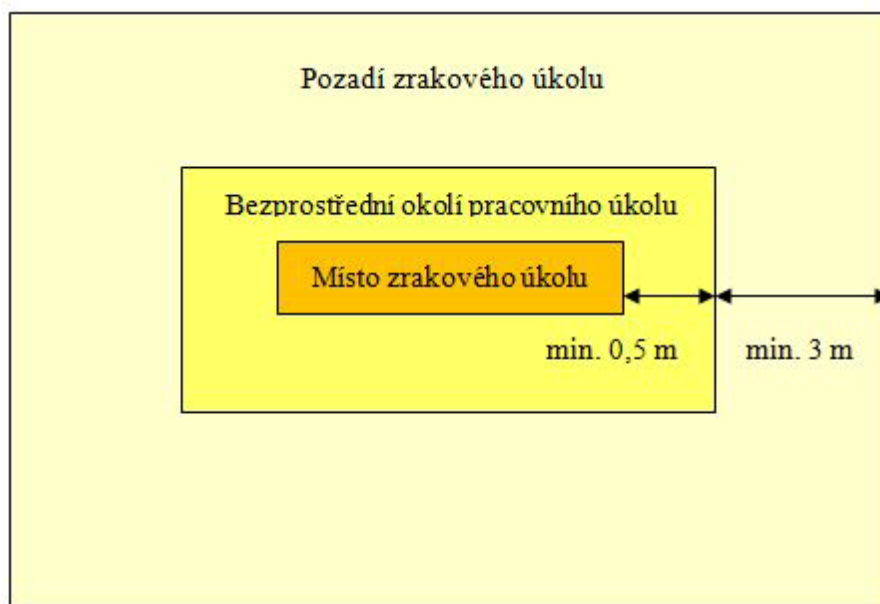
Požadovaná udržovaná osvětlenost musí být zvětšena, jestliže je zraková činnost při práci náročná a má zásadní význam, chyby se nákladně opravují, jedná-li se o vysokou produktivitu a zvýšené soustředění je důležité, zrakové úkoly jsou malé a popř. málo kontrastní, zrakový úkol je vykonáván po neobvykle dlouhou dobu a jestliže jsou zrakové schopnosti pracovníků sniženy. [15]

Požadované udržované osvětlenosti lze zmenšit, jestliže:

- kritické detaily úkolu jsou neobvykle velké nebo mají velký kontrast,
- úkol je vykonáván po neobvykle krátkou dobu.

Pro osoby s očními vadami mohou být uplatněny zvláštní požadavky na osvětlenost a kontrast.

Pokud není znám typ zrakového úkolu, má projektant předpokládat nejpravděpodobnější zrakový úkol a uvažovat s příslušnými požadavky zrakového úkolu. [15]



**Obr 48 - Minimální rozměry bezprostředního okolí a pozadí úkolu ve vztahu k místu zrakového úkolu**

### Osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu

Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu souvisí s osvětlením místa zrakového úkolu a má poskytovat vyvážené rozložení jasů v zorném poli. Bezprostřední okolí úkolu má tvořit pás o šířce aspoň 0,5 m kolem místa úkolu v zorném poli. [15]

Tabulka 9 – Vztah mezi osvětleností bezprostředního okolí úkolu a osvětleností v místě zrakového úkolu [15]

Osvětlenost místa zrakového úkolu $E_{úkol}$ [lx]	Osvětlenost bezprostředního okolí úkolu [lx]
$\geq 750$	500
500	300
300	200
200	150
150	$E_{úkol}$
100	$E_{úkol}$
$\leq 50$	$E_{úkol}$

#### 3.1.3.4 Osvětlenost pozadí úkolu

Ve vnitřních pracovních prostorech, zvláště v prostorech bez denního světla, je třeba, aby velká oblast obklopující pracoviště a využívané místo pracovního úkolu, byla osvětlena. Tato oblast, která se nazývá „pozadí úkolu“ a která přiléhá k bezprostřednímu okolí úkolu, by měla mít šířku minimálně 3 m uvnitř hranic řešeného prostoru a musí být osvětlena na hodnotu udržované osvětlenosti, která odpovídá 1/3 udržované osvětlenosti bezprostředního okolí úkolu. [15]

#### 3.1.3.5 Rovnoměrnost osvětlení

Rovnoměrnost osvětlení při osvětlení umělým světlem nebo světlíky:

- bezprostředního okolí úkolu musí být  $U_o > 0,40$ ,
- pozadí úkolu musí být  $U_o > 0,10$ .

Tabulka 10 – Doporučené rozsahy osvětlenosti [12]

Osvětlenost (lx)	Prostor, místo a druh činnosti
20 - 30 - 50	Základní jednoduchá orientace v prostředí
50 - 75 - 100	Jednoduchá orientace, kratší doba jednoduché činnosti
100 - 150 - 200	Prostory, které nejsou dlouhodobě užívány pro pracovní účely, jedná se o prostory obytné a společenské
200 - 300 - 500	Zráková místa pro jednodušší a běžné pracovní úkoly, např. školy, kanceláře, administrativa
500 - 750 - 1000	Zráková místa pro vizuálně náročnější a déle trvající pracovní úkony
1000 - 1500 - 2000	Zvláště náročné zrákové úkoly, např. porodní sály
více než 2000	Velmi náročné zrákové úkoly, např. operační prostory, zubní ordinace

### 3.1.4 Oslnění

Oslnění je počitek způsobený jasnými povrchy v zorném poli jako osvětlenými povrchy, částmi svítidel a okny. Oslnění musí být omezeno, aby se předešlo chybám, únavě a úrazům. Oslnění může být pocíťováno buď jako rušivé, nebo jako omezující oslnění. Jsou-li ve vnitřních prostorech dodrženy limity rušivého oslnění, není omezující oslnění hlavním problémem. [15]

#### ***Rušivé oslnění***

Pro hodnocení rušivého oslnění přímo způsobené svítidly vnitřní osvětlovací soustavy se musí hodnotit tabulkovou metodou Jednotného systému hodnocení oslnění CIE ( $U_{GR}$ ) vycházející ze vzorce:

$$U_{GR} = 8 \log_{10} \left( \frac{0,25}{L_B} \sum \frac{L^2 \omega}{p^2} \right)$$

, kde

$L_B$  je jas pozadí v  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$  vypočítaný jako  $E_{\text{ind}}/\pi$ , kde  $E_{\text{ind}}$  je svislá nepřímá osvětlenost oka pozorovatele,

$L$  jas svítící části každého svítidla ve směru oka pozorovatele v  $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ ,

$\omega$  prostorový úhel (ve steradiánech) svítící části každého svítidla vzhledem k oku pozorovatele,

$p$  činitel polohy podle Gutha pro každé svítidlo podle jeho odklonu od směru pohledu.

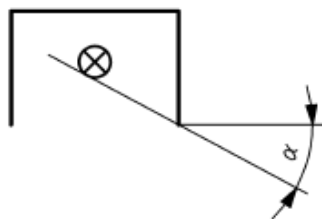
Doporučené mezní hodnoty  $UGR$  tvoří řadu, jejíž stupně odpovídají patrným změnám v oslnění: 10, 13, 16, 19, 22, 25, 28.

#### ***Omezení oslnění cloněním***

Jasně zdroje světla s vysokým jasnem mohou oslňovat a zhoršovat viditelnost předmětů. Tomu se musí zabránit například vhodným cloněním světelných zdrojů a světlíků nebo vhodným odstíněním jasněho denního světla od oken. [15]

Tabulka 11 – Minimální úhly clonění svítidel pro specifické jasy světelných zdrojů [15]

Jas světelného zdroje ( $\text{cd} \cdot \text{m}^{-2}$ )	Minimální úhel clonění $\alpha(^{\circ})$
20 až <50	15
50 až <500	20
$\geq 500$	30



Obr 49 – Úhel clonění  $\alpha$

## 3.2 Osvětlení vnitřního prostoru dle normy ČSN EN 12464-1

Světelné podmínky se v případě prostoru popisují pomocí „střední válcové osvětlenosti“, „podáním tvaru“ a „směřovaným osvětlením“.

Udržovaná střední válcová osvětlenost (průměrná osvětlenost svislé roviny) v aktivních a vnitřních prostorech nesmí být menší než 50 lx s  $U_o > 0,10$  na vodorovné rovině ve stanovené výšce, např. 1,2 m pro sedící osoby a 1,6 m pro stojící osoby nad podlahou. [15]

### 3.2.1 Podání tvaru

Celkový dojem vnitřního prostoru je možné zlepšit, pokud jeho stavební prvky, osoby a předměty v něm osvětleny tak, že jejich tvar a textura se jeví, je možné vnímat jasně a příjemně. [15]

Osvětlení nesmí být příliš směřované, aby nevytvářelo ostré stíny, ani příliš difúzní, aby se podání tvaru zcela neztratilo, což by vedlo k příliš monotónnímu světelnému prostředí. Násobné stíny způsobené směrovým osvětlením z více než jednoho směru je třeba vyloučit, aby nevznikl chaotický vizuální efekt. [15]

Podání tvaru charakterizuje vyváženost mezi rozptýleným a směřovaným světlem a mělo by se brát v úvahu. [15]

Pro rovnoměrné rozmístění svítidel nebo světlíků jsou hodnoty mezi 0,30 a 0,60 ukazatelem dobrého podání tvaru. [15]

### 3.2.2 Hledisko barev

Jakost barvy světla světelných zdrojů smluvně bílého světla nebo propouštěného denního světla se charakterizují dvěma parametry vlastnostmi příznaky:

- barevným tónem světla,
- jakostí podání barev, která ovlivňuje barevný vzhled předmětů a osob.

Tyto dva parametry vlastnosti příznaky musí být uvažovány odděleně. [15]

### **Barevný tón světla**

Barevný tón světla světelného zdroje se vztahuje k zdánlivé barvě (chromatičnosti) vyzařovaného světla. Ta se popisuje náhradní teplotou chromatičnosti ( $T_{CP}$ ).

Barevný tón denního světla se mění během dne. [15]

**Tabulka 12 – Skupiny barevného tónu světla světelných zdrojů [15]**

<b>Barevný tón světla</b>	<b>Náhradní teplota chromatičnosti <math>T_{CP}</math> (K)</b>
teple bílý	do 3 300
neutrálně bílý	3 300 až 5 300
chladně bílý	nad 5 300

### **Podání barev**

Pro zrakový výkon, pocit celkové a duševní pohody je nutné, aby barvy předmětů a lidské pokožky v daném prostředí byly podány vnímány přirozeně, věrně a tak, aby lidé vypadali přitažlivě a zdravě. [15]

Pro objektivní popis vlastností světelných zdrojů z hlediska podání barev se používá všeobecný index podání barev  $R_a$ . Maximální hodnota  $R_a$  je 100. [15]

### **3.2.3 Míhání a stroboskopické jevy**

Míhání působí rušivě a může vyvolat mít fyziologické projevy jako např. bolest hlavy.

Stroboskopické jevy mohou např. vést k nebezpečným situacím při změně vnímaného pohybu strojů s točivým nebo s vratným pohybem. [15]

Osvětlovací soustavy mají být navrženy tak, aby nedocházelo ke vzniku míhání a stroboskopickým jevům a zabránilo se tomu tak. [15]

### **3.2.4 Udržovací činitel**

Projekt osvětlení musí být vypracován s uvažováním celkového udržovacího činitele vypočítaného pro zvolené osvětlovací zařízení, prostředí a plán údržby. [15]

Doporučená osvětlenost pro každý zrakový úkol se uvádí jako udržovaná osvětlenost. Udržovací činitel závisí na provozních charakteristikách světelných zdrojů a předřadníků, svítidel, prostředí a na plánu údržby. [15]

Při výpočtech denního osvětlení je třeba zohlednit snížení činitele prostupu prosklení vlivem znečištění. [15]

### 3.3 Výpočtové metody vnitřního osvětlení

Navrhování a projektování umělého osvětlení vnitřních prostorů je spojeno s celou řadou světelně-technických výpočtů. Jejich cílem je jednak stanovit výkon a potřebný počet světelných zdrojů, resp. svítidel, tedy instalovaný příkon pro osvětlení daného prostoru a ověřit v navržené osvětlovací soustavě dodržení ukazatelů jakosti osvětlení. [12]

Metody základních světelně-technických výpočtů lze rozdělit do dvou skupin:

- Metody tokové
- Metody bodové

Do první skupiny metod patří, vedle předběžného stanovení příkonu osvětlovací soustavy využitím hodnot měrných příkonů, zejména toková metoda světelně-technických výpočtů. U tokové metody se vychází z požadované průměrné hladiny celkové osvětlenosti obvykle vodorovné výpočtové roviny a stanovuje se k tomu účelu potřebný světelný tok zdrojů a příkon osvětlovací soustavy. Z téhož vyplývá i počet světelných zdrojů a svítidel. Tokové metody lze také využít k určení střední hodnoty jasů stěn a stropu daného prostoru. Vliv zastínění částí srovnávací roviny velkými předměty situovanými do osvětlovaného prostoru se u tokové metody neuvažuje. [12]

Bodovou metodou výpočtu se zjišťují hodnoty ukazatelů jakosti osvětlení, nejčastěji hodnoty osvětlenosti libovolně natočených pracovních rovin, hodnoty střední kulové popř. válcové osvětlenosti v různých bodech osvětlovaného prostoru. Pomocí této metody se stanovují maximální a minimální hodnoty sledovaných veličin i hodnoty odpovídající jejich rovnoměrnosti. Při běžných výpočtech integrálních charakteristik bodovou metodou se vliv odražených světelných toků obvykle neuvažuje nebo se respektuje jen přibližně. [12]

Obě tyto metody mají svá určitá omezení a předpoklady správného použití. Na tyto okolnosti musí dbát ohled projektant. Tokové metody se většinou užívají k výpočtům průměrných hodnot osvětlenosti v soustavě. Odstupňované osvětlení vyžaduje obvykle řešení metodou bodovou. V případě, je-li činitel odrazu světelně-činných ploch vysoký a kdy je prostor osvětlován svítidly jinými než přímými, pak je třeba doplnit bodovou metodu, výpočtu integrálních charakteristik odpovídajících pouze přímým světelným zdrojům, výpočtem nepřímých složek charakteristik, které odpovídají světelným tokům odražených od světelně-činných ploch daného prostoru. [12]

Nás bude dále zajímat jen bodová metoda, která se používá pro vnitřní osvětlení, neboť právě s touto metodou počítá i výpočetní program Relux, v kterém jsou také provedeny projekty této bakalářské práce.

#### 3.3.1 Bodové metody pro vnitřní osvětlení

Bodové metody umožňují výpočet osvětlenosti v kontrolních místech (bodech) libovolně natočených pracovních rovin, světelný vektor a střední kulovou osvětlenost. Při běžných bodových výpočtech se vliv odražených světelných toků nebere v úvahu. [12]



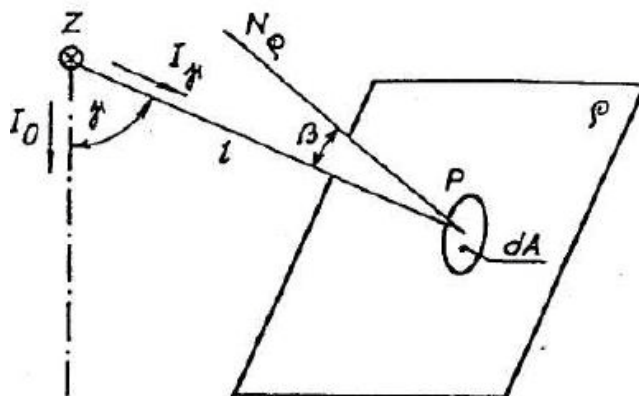
Tato metoda se využívá jen v případě, kdy lze zanedbat odrazy od okolních stěn, stropu a podlahy. Lze ji tedy využít pro výpočty v místnostech s velice nízkou odrazivostí povrchů. [12]

Osvětlenost bodového zdroje lze vyjádřit i pomocí svítivosti, a to na základě tzv. čtvercového a kosinového zákona. Hodnotu intenzity lze určit pomocí vztahu:

$$E = \frac{I_{\gamma} \cdot \cos \beta}{l^2}, \quad [\text{lx}; \text{cd}, ^\circ, \text{m}]$$

, kde $E$	osvětlenost
$I_{\gamma}$	svítivost
$\cos \beta$	úhel svírající dopadající paprsek s normálou plochy
$l$	vzdálenost světelného zdroje od plochy

Z rovnice je zřejmé, že intenzita osvětlení v daném bodě  $P$  klesá s rostoucí vzdáleností  $l$  světelného zdroje od tohoto bodu (přesněji se čtvercem vzdálenosti – čtvercový zákon). Osvětlenost je zároveň přímo úměrná hodnotě kosinu úhlu  $\beta$  ( $\cos \beta$  – kosinův zákon – se vzrůstajícím úhlem  $\beta$  klesá osvětlenost). Svítivost  $I_{\gamma}$  představuje hodnotu, která je odečtena s úhlem  $\gamma$  ke svítivosti  $I_0$ . Maximální osvětlenosti tedy dosáhneme tehdy, bude-li normála roviny svírat s dopadajícím paprskem nulový úhel ( $\beta = 0$ ). Hodnota kosinu pak bude mít maximální hodnotu ( $\cos 0^\circ = 1$ ). V tomto případě pak hovoříme o normálové osvětlenosti  $E_N$ . [12]



Obr 50 – Definice osvětlenosti bodového zdroje

Na obr. 50 je znázorněna rovina  $\rho$ , na které je ze vzdálenosti  $l$  osvětlen bod  $P$ , jehož bezprostřední okolí tvoří plocha  $dA$ . Normála roviny svírá s paprskem světla úhel  $\beta$ .

### **3.3.2 Výpočetní program Relux**

Světelně-technický program Relux je švýcarský program na špičkové evropské úrovni s možností připojení databází svítidel českých i mezinárodních výrobců. Program umožňuje práci s několika formáty světelně-technických dat a možnost importovat charakteristiky jednotlivých svítidel. Pomocí tohoto programu je možné počítat umělé, denní, sdružené i nouzové osvětlení. V programu je také obsaženo velké množství vnitřního vybavení, tj. nábytku, materiálu a textur pro možný výpočet vnitřního (venkovního, pouličního) osvětlení. [12]

## 4. Návrh modelových soustav vnitřního osvětlení

Návrh osvětlovací soustavy se provádí pro účely srovnání a vhodného výběru daných svítidel. Pro účely této bakalářské práce byl použit vypracovaný projekt nové budovy Fakulty elektrotechniky a informatiky Vysoké školy Báňské – Technické u niverzity O strava v Ostravě – Porubě, ulice 17. listopadu 2172/15. Podkladem pro výpočet umělého osvětlení byla stavební dokumentace (půdorys) a v projektu bylo uvažováno několik možností nasazení svítidel. Hlavním kritériem pro výběr vhodného svítidla bylo použití typu downlight. V projektu se uvažuje mimo jiné i nasazení svítidel od firmy Hormen LED OIZZO 2000 lm, 4000 K.

### 4.1 Osvětlení v místnosti A2.02 - Chodba

Pro instalaci vhodných svítidel tak, aby splňovaly dané parametry dle norem, je více než jedna možnost, jak vybavit chodbu svítidly, které jim budou odpovídat. Bylo několik možností, které připadaly v úvahu pro nasazení svítidel v dané chodbě. Počet osazených svítidel je 89 v každém případě.

Místnost č. A2.02 – Chodba v druhém patře – má plochu přibližně 566 m<sup>2</sup>. Podlaha je z materiálu PVC. V místnosti je absence otvorů, jimiž by procházelo denní světlo a není zde umístěn žádný nábytek (obr. 51).



Obr 51 - Pohled na model místnosti A2.02 – chodba ve výpočetním programu ReluxPro

#### 4.1.1 Navržené osvětlovací soustavy

##### *Osvětlovací soustava se svítidly Hormen – Lissa 1 2x26W FACET*

Jedná se o soustavu s použitím 89 ks svítidel Hormen Lissa 1 2x26W FACET, což je vestavěný downlight se dvěma kompaktními zářivkami typu TC-DEL, každá o příkonu 26 W, se světelným tokem 1800 lm, index podání barev  $R_a = 80$  při náhradní teplotě chromatičnosti 4000 K, předřadník je elektronický a celkový příkon svítidla je 52 W. Tělo svítidla a předřadný box je

z pozinkovaného plechu a fasetový reflektor z hliníkového plechu. Další podrobnosti o svítidle obsahuje datový list svítidla v příloze V.



Obr 52 – Svítidlo Hormen – Lissa 1, 2x26W FACET

#### ***Osvětlovací soustava se svítidly Hormen – LED OIZZO 2000 lm, 4000 K***

Pro danou místnost bylo také uvažováno instalování stejného počtu svítidel s LED světelnými zdroji od firmy Hormen – OIZZO 2000 lm, 4000 K, tedy o světelném toku 2000 lm s indexem podání barev  $R_a = 80$  při náhradní teplotě chromatičnosti 4000 K. Jedná se o LED s pasivním systémem chlazení zajišťujícím nulový hluk při provozu, jehož jodizovaný leštěný reflektor je z vysoce čistého hliníku 99,98%. Její povrchová úprava chladiče zlepšuje odvod tepla. Teoretická doba života je 50 000 hodin – L70. Další podrobnosti o svítidle taktéž obsahuje datový list svítidla v příloze VI.



Obr 53 – Svítidlo Hormen – LED OIZZO 2000 lm, 4000 K

### **4.1.2 Požadavky na osvětlení místnosti**

Jako normové zdroje byly použity normy výše zmíněné normy ČSN EN 12464-1: *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Požadované hodnoty světelně-technických veličin jsou popsány v tabulce 13.

Tabulka 13 - Obecné požadavky na chodbu dle normy ČSN EN 12464-1:

Část chodby	Požadované hodnoty
Udržovaná osvětlenost $E_m$ (lx)	100
Činitel osvětlení $UGR$	28
Index podání barev $R_a$	80
Rovnoměrnost $U_0$	0,4

## 4.2 Porovnání parametrů uvažovaných osvětlovacích soustav

Výpočet umělého osvětlení byl proveden pomocí výpočetního programu ReluxPro, bodovou metodou a rovněž bylo provedeno hodnocení činitele UGR. Výška srovnávací roviny pro osvětlenost je 0 m a pro UGR je 1,5 m. Výsledné výpočty pro obě osvětlovací soustavy jsou přidány v příloze VII. a v příloze VIII.

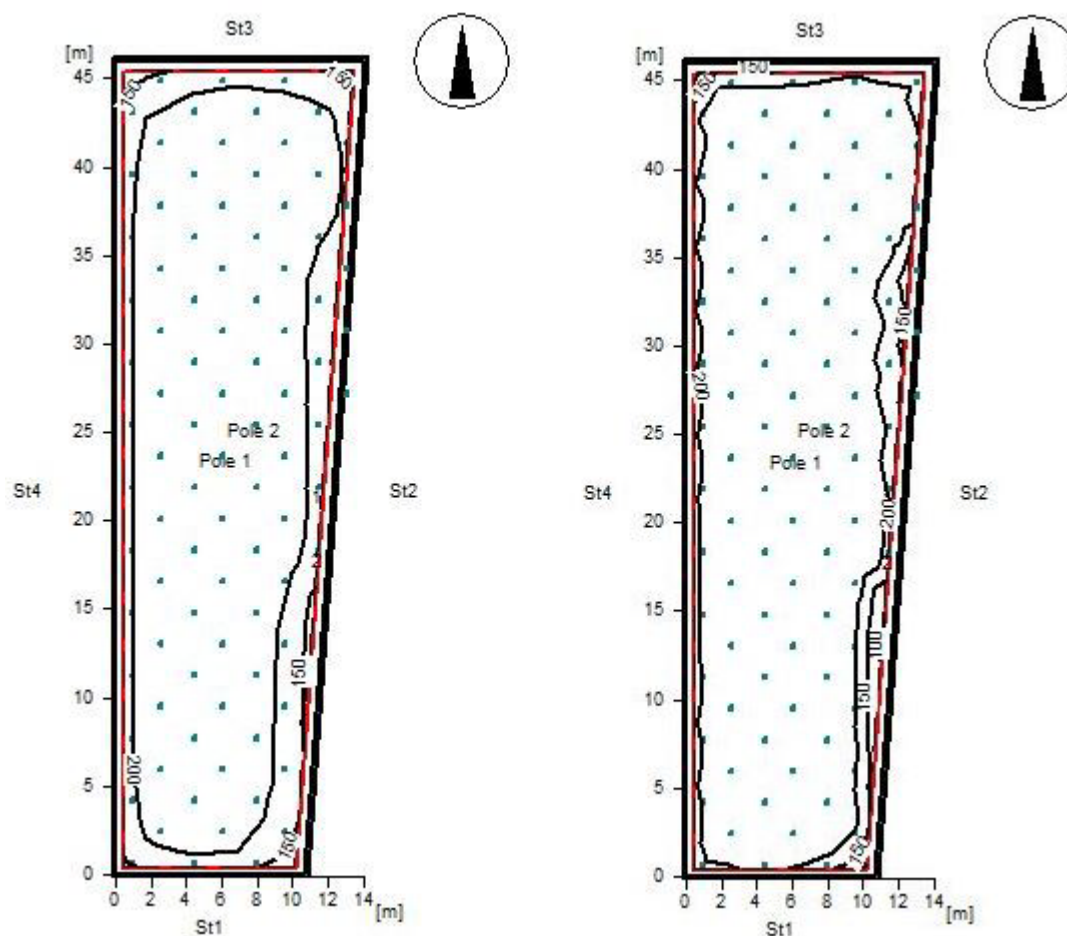
### *Udržovaná intenzita osvětlení*

Norma ČSN EN 12464-1 požaduje, aby udržovaná osvětlenost na chodbách byla  $E = 100$  lx, tento požadavek splňuje jak uvažovaná svítidla s LED světelnými zdroji, tak svítidla s kompaktními zářivkami. Udržovaná osvětlenost v případě LED svítidel vychází  $E_m = 244$  lx a v případě zářivkových svítidel vychází  $E_m = 228$  lx.

### *Rovnoměrnost osvětlení*

Bereme-li v potaz možnosti instalování jednoho z těchto dvou typů svítidel pro osvětlovací soustavu a je-li pro nás důležitá rovnoměrnost osvětlení, pak vyšší rovnoměrnosti osvětlení dosáhneme se zářivkovými svítidly. Rovnoměrnost u osvětlovací soustavy se svítidly Lissa 1 FACET vychází  $E_{min}/E_m = 0,68$ , zatímco u LED svítidel OIZZO je to  $E_{min}/E_m = 0,59$ . Vyšší rovnoměrnost osvětlení u zářivky je způsobena křivkou svítivosti, která není tak směrová, jako u LED svítidla. Rovnoměrnost osvětlení je však v souladu s normou o obou případech, ovšem není jediným rozhodujícím faktorem k výběru vhodných svítidel pro danou chodbu.

Velkou rovnoměrnost osvětlení soustavy zářivek Lissa1 FACET na srovnávací rovině (podlaze) dokládá izoluxová mapa chodby na obr 54.



Obr 54 - Izoluxová mapa osvětlovacích soustav: vlevo – osvětlovací soustava s kompaktními zářivkami Lissa 1 2x26W FACET, vpravo – osvětlovací soustava s LED světelnými zdroji LED OIZZO 2000 lm, 4000 K

### ***Jednotné omezení oslnění UGR***

V případě osazení osvětlovací soustavy svítidly s LED světelnými zdroji hodnoty činitele UGR dle normy ČSN EN 12464-1 nepřesahují hodnotu jednotného omezení oslnění  $UGR_L = 28$  pro tento prostor. U osvětlovací soustavy se svítidly s kompaktními zářivkami Lissa 1 FACET je však tento číselný požadavek na hraně normy.

### ***Index podání barev***

Index podání barev podle stejné normy splňují obě svítidla uvedená v tabulce. Požadovaná hodnota je  $R_a = 40$ , přičemž u obou svítidel je podání barev  $R_a = 80$ .

## 5. Ekonomické a technické zhodnocení jednotlivých variant modelového výpočtu

Pořizovací cena LED světelných zdrojů je vyšší než cena klasických žárovek, halogenových žárovek či zářivek. Je však třeba vzít v úvahu, že v průběhu provozu (svícení) světelného zdroje dochází k jejich delší životnosti a významně vyšší účinnosti.

V následující tabulce je srovnání ekonomických parametrů soustavy se zářivkovými svítidly Lissa 1 a soustavy s LED svítidly OIZZO, obě se stejným počtem svítidel. Vzhledem k nedostupnosti přesných cen firmy Hormen jsou ceny svítidel orientační a přibližně srovnatelné k typově stejným svítidlům k ceníkům firmy Inge bez DPH.

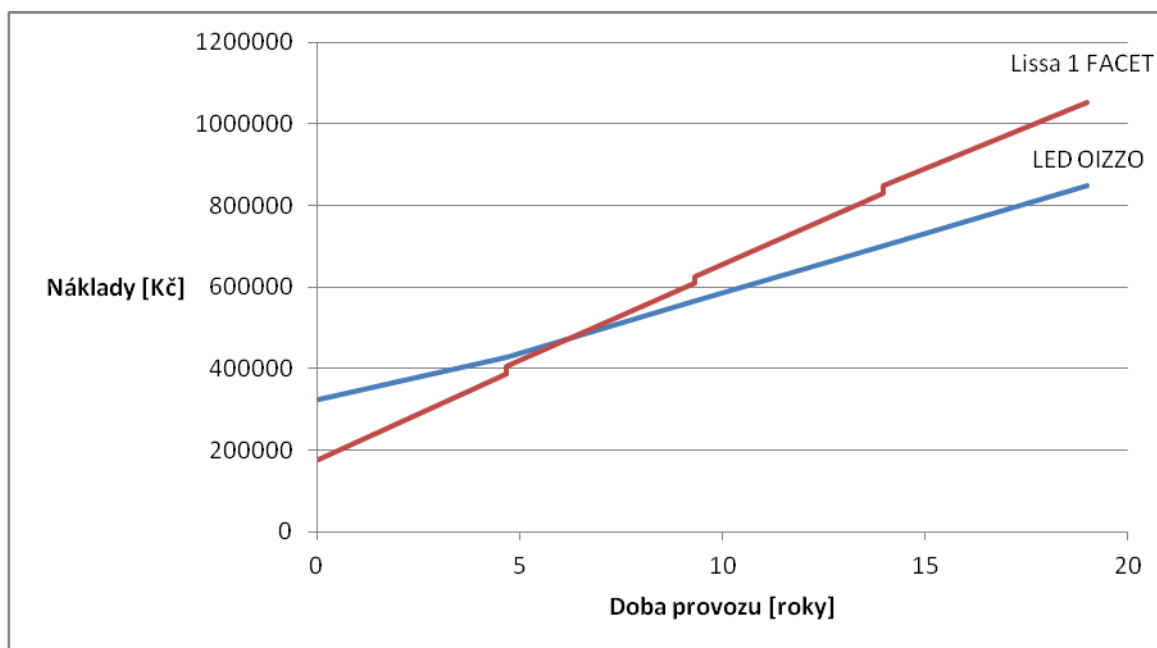
Tabulka 14 - Srovnání investičních a provozních nákladů obou soustav pro chodbu A2.02

<i>Parametry osvětlovací soustavy</i>			
Typ svítidel		LED OIZZO 2000 lm, 4000 K	Lissa 1 2x26W FACET
Počet svítidel soustavy	[ks]	89	89
Příkon svítidla	[W]	26,3	52
Instalovaný příkon soustavy $P_i$	[W]	2340,7	4628
<i>Investiční náklady</i>			
Pořizovací náklady na jedno svítidlo	[Kč]	+/- 3300	1864
<i>Provozní náklady</i>			
Spotřeba el. energie za 1 den	[kWh]	2,34	4,628
Spotřeba el. energie za 1 rok	[kWh]	6039	11 940,24
Cena spotřebované el. energie za rok	[Kč]	29 168,37	57 671,36
Celkové provozní náklady po 19 letech	[Kč]	554 199,03	1 095 755,84
<i>Celkové náklady</i>			
Celkové náklady po 19 letech	[Kč]	847 899,03	1 261 651,84

Při výpočtu je uvažována cena elektrické energie 4,83 Kč/kWh, denní doba provozu je 10 hodin a roční doba provozu 2580 hodin pro plochu místnosti 566,97 m<sup>2</sup>.

Interval výměny světelných zdrojů vychází z jejich teoretické doby života. V případě osvětlovací soustavy s kompaktními zářivkami, jejíž výměna by měla proběhnout zhruba po 12 000 hodinách provozu, pak při předpokládané roční době provozu 2580 hodin je výměna světelných zdrojů nutná po necelých 5 letech, přesněji po 4,65 letech (tedy 4 letech a 7 měsících). Doba života svítidel OIZZO s LED světelnými zdroji je výrobcem stanovena na teoretických 50 000 hodin. Při stejné roční době provozu tak znamená životnost LED svítidel 19 let, proto je výpočet v tabulce zaměřen na 19 let.

Zatímco by se během těchto 19 let vystřídaly přibližně 4 sady zářivkových svítidel, u LED svítidel pak bude teprve po 19 letech končit doba života první soustavy.



**Obr. 55 - Graf závislosti nákladů na pořízení, provozu a výměny světelných zdrojů osvětlovacích soustav na době provozu**

Z výše uvedeného grafu vyplývá, že počátečními náklady jsou pořizovací ceny svítidel jednotlivých osvětlovacích soustav. Strmosti křivek nárůstu jsou tvořeny pořizovacími náklady za dané období a provozem za dané období a jsou určeny přímo úměrně instalovaným příkonem soustav. Průběh křivky LED OIZZO je rovnoměrně zvyšující se z již zmíněného důvodu, kdy tato osvětlovací soustava nevyžaduje další náklady na znovuoobnovení soustavy dříve než za 19 let. Křivka osvětlovací soustavy s kompaktními zářivkami typu Lissa 1 FACET tvoří po dobu těchto 19 let 4 skokové nárůsty, které jsou způsobené právě pořizováním nových světelných zdrojů – kompaktních zářivek po 4,65 letech. Cena těchto světelných zdrojů je uvažovaná 200,- za jednu novou kompaktní zářivku.

Z vyšších tabulek je známo, že pořizovací cena osvětlovací soustavy s LED světelnými zdroji je vyšší než u soustavy s kompaktními zářivkami. Tyto vyšší počáteční investice se nám však v porovnání těchto dvou osvětlovacích soustav vrátí zhruba po 6 letech a dle křivek je poté zřejmé, že by se ekonomicky nevyplatila osvětlovací soustava kompaktních zářivek Lissa 1 FACET.

## 5.1 Zhodnocení navržených osvětlovacích soustav

Z ekonomického hlediska je zřejmé z předešlé kapitoly, že varianta osazení LED svítidel OIZZO pro chodbu A2.02 je 1,97x dražší než při osazení zářivkových svítidel Lissa 1 FACET. Avšak za dobu 19 let bychom museli soustavu se zářivkovými svítily Lissa 1 FACET vyměnit 4x (resp.



udržovat přibližně každé 4 roky), což by bylo daleko dražší, než investovat za jednu soustavu s LED svítidly sice více peněz, ale za to jedenkrát po dobu 19 let.

Co se týče technických parametrů svítidel, příkon jednoho svítidla s LED světelným zdrojem je téměř dvojnásobně menší s měrnou účinností svítidla dvojnásobně větší, což je mnohem ideálnější, než u kompaktních zářivek FACET, jejichž příkon jednoho svítidla je naopak dvakrát větší a měrná účinnost svítidla je dvojnásobně nižší.

Ohledně světelného toku, LED svítidlo OIZZO vyzařuje 2000 lm, celkový světelný tok všech LED zdrojů je o 1,8x nižší než u zářivkových svítidel se světelným tokem 1800 lm, což s ohledem na příkon svítidla je další výhodou pro zvolení soustavy LED svítidel OIZZO pro danou chodbu.

Stejně tak je tomu u udržované osvětlenosti, která vychází vyšší pro soustavy s LED svítidly OIZZO než u soustavy s kompaktními zářivkami Lissa 1 FACET. Výhodou pro soustavu kompaktních zářivek je však to, že rovnoměrnost osvětlení je o něco vyšší než u svítidel OIZZO, což je způsobeno křivkou svítivosti svítidla.

Další výhodou pro použití osvětlovací soustavy s LED svítidly OIZZO pro chodbu je samozřejmě také jejich doba životnosti, která je asi 4x vyšší.

Z celkového posouzení, zda bude vhodnější osvětlovací soustava se svítidly s LED světelnými zdroji či osvětlovací soustava s kompaktními zářivkami k její instalaci pro chodbu nové budovy VŠB - TUO Fakulty elektrotechniky a informatiky je zcela zjevné, že se právě vyplatí použít LED svítidla OIZZO 2000 lm, 4000 K.

Další potřebná údržba bude prováděna dle nutnosti jednotlivých svítidel v průběhu jejich provozu nebo v případě nějaké nečekané kolize.

## 6. Porovnání vypočtených a naměřených výsledků řešených osvětlovacích soustav

Měření osvětlovací soustavy proběhlo tv nové budově Fakulty elektrotechniky a informatiky Vysoké školy Báňské – Technické univerzity Ostrava v Ostravě – Porubě, ulice 17. listopadu 2172/15. Pro posouzení reálných vlastností a výsledků jsem pro osvětlovací soustavu s LED svítidly zvolila chodbu A1.56 v prvním patře, poněvadž osvětlovací soustava s LED světelnými zdroji byla pouze na chodbách. Naopak pro posouzení reálných vlastností a výsledků osvětlovací soustavy se zářivkami jsem zvolila Studijní oddělení – Mgr. A1.52 a to z důvodu, že svítidla se zářivkami byla instalována pouze pro kanceláře a posluchárny. Pro obě osvětlovací soustavy v místnostech platí:

Udržovací činitel je 0,8 a interval čištění svítidel je zvolen 2x ročně.

Odrazivost povrchů je dána následovně: Strop – světlý

Stěny – světlé

Podlaha – šedá

Bez zařízení

Rozmístění svítidel: pravidelné, stropní

Při měření bylo naměřeno menší přepětí, kdy počáteční napětí je 234 V a konečné 234 V, což ovšem osvětlovacím soustavám jak u zářivek, tak u LED nevádí.

### 6.1 Osvětlovací soustava osazená LED

Pro porovnání reálných vlastností a výsledků, co se týče LED osvětlovací soustavy, jsem zvolila soustavu OIZZO 26W z předešlé kapitoly, pro kterou byly provedeny výpočty ve výpočetním programu ReluxPro. Bližší požadavky pro osvětlování chodby jsou již zmíněné v předešlých kapitolách. Na základě toho lze konstatovat, že při reálném měření se hodnoty naměřených hodnot shodují s požadovanými. Z následujícího obrázku 56 – fotografie chodby s LED svítidly lze rozpoznat na stěnách nerovnoměrnost jasových poměrů u osvětlovací soustavy s LED svítidly, kdy na některých místech vznikají vyšší jasy než na jiných místech. Tento jev je způsoben křivkou svítivosti daných LED a jejich rozmístěním.



Obr 56 - Ukázka osvětlené chodby A1.56 LED svítidly OIZZO 26 W

### 6.1.1 Porovnání vypočítaných hodnot a naměřených hodnot chodby

Pro měření osvětlenosti byl zvolen úsek chodby v prvním patře, který je osvětlen stejnými LED svítidly jako chodba druhého patra. Požadavky na osvětlení podle norem jsou pro všechny chodby stejné, proto můžeme porovnat výsledky výpočtů provedené výpočetním programem ReluxPro chodby druhého patra s reálnými výsledky měření vybraného úseku chodby prvního patra. Nejistotu měření uvažujeme +/- 10%.

Tabulka 15 – Naměřené hodnoty pro A1.56 Chodba 1NP - vybraný úsek

Místnost:	<i>A1.56 Chodba 1NP</i>				
Kontrolní body:	18 ks				
Veličina:	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$z$	$E_m$ [lx]	$r(E_{min}/E_p)$
Zjištěná hodnota:	250	181	0,8	199	0,7
Nejistota výsledků:	+/- 10%				
Požadovaná hodnota:	ČSN EN 12464-1			100	0,4
Kontrast:	střední				

Z tabulky 15 můžeme vyčíst naměřené hodnoty pro soustavu s LED svítidly. Co se týče osvětlenosti, střední hodnota naměřené osvětlenosti reálně vychází o něco vyšší, než je potřeba,  $E_m = 199$  (podle normy je požadavek na osvětlenost  $E_m = 100$ ), což značí nepatrně přesvětlení chodby, avšak bylo-li by v chodbě méně LED svítidel, pak by nebyla dodržena minimální rovnoměrnost osvětlení a to díky právě směrovému světelnému toku LED svítidel typu downlight. Dle normy je

požadavek u chodeb na rovnoměrnost osvětlení 0,4 a při měření nám vychází hodnota 0,7, jak lze vidět v tabulce 15 a lze konstatovat, že se jedná o velmi příznivý výsledek.

**Tabulka 16 – Vypočítané hodnoty intenzit osvětlení na srovnávací rovině chodby A2.02**

	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}/E_m$ [ - ]
<b>Soustava LED OIZZO 2000 lm, 4000 K</b>	244	144	274	0,59

Budeme-li počítat s nejistotou měření 10%, pak např. pro  $E_{max}$  ; 10% z 250 [lx] je 25 [lx], což znamená, že pokud ve výpočtech pro soustavu s LED OIZZO vychází  $E_{max} = 274$ , pak se výsledky měření stále shodují s teoretickými výpočty. Větší nejistota měření než 10% však vychází pro  $E_{min}$  a pro  $E_m$ . Rozdíly však nejsou tak závažné, aby se braly výpočty za nesprávné. Dalo by se tedy konstatovat, že výsledky měření a výpočtů spolu souhlasí.

## 6.2 Osvětlovací soustava osazená zářivkami

Pro porovnání reálných vlastností a výsledků osvětlovací soustavy se zářivkami jsem vybrala místnost A1.52 – Studijní oddělení - Mgr., kde se nachází právě svítidla se zářivkami MODUS ARES 2x54 W ALDP RAL 9006. Jelikož se v této místnosti oproti chodbě uvažuje vykonávání pracovního úkolu, jsou zde zvolena zářivková svítidla, pomocí nichž je dosažena větší rovnoměrnost osvětlení. Více podrobností o svítidle z katalogu v příloze IX.



Obr 57 - Vlevo - Ukázka osvětlené místnosti A1.52, vpravo - svítidly MODUS ARES 2x54 W RAL 9006

### 6.2.1 Porovnání vypočítaných hodnot a naměřených hodnot studijního oddělení

Pro měření osvětlovací soustavy se zářivkami jsme zvolila místnost Studijního oddělení – Mgr. v prvním patře nové budovy Fakulty elektrotechniky a informatiky. Jelikož také ještě nebyly zmíněny požadavky na osvětlování v místnostech kanceláří, proto jsou v tabulce 17 uvedeny hlavní hodnoty parametrů dle normy ČSN EN 12464-1, které by měly být splněny.

Tabulka 17 - Obecné požadavky na kancelář dle normy ČSN EN 12464-1

Část podatelny	Požadované hodnoty
Udržovaná osvětlenost $E_m$ (lx)	500
Činitel osvětlení $UGR$	19
Index podání barev $R_a$	80
Rovnoměrnost $U_0$	0,6

Střední hodnoty osvětlenosti pro Studijní Mgr. vychází dle měření  $E_m = 1115$ , což je mnohem více, než je podle normy nutné (viz tabulka 17). Je zřejmé i z tohoto příkladu, že dosáhneme vyšší

osvětlenosti se zářivkami než by tomu bylo u LED svítidel, což již bylo dokázáno v minulé kapitole pomocí výpočtů ve výpočetním programu ReluxPro.

V tomto případě je nutno dodat, že rovnoměrnost osvětlení vyšší než vyžadovaná hodnota  $E_{min}/E_m = 0,73$ , což je jednou z mála výhod při osvětlení místností se zářivkami. Vysoká rovnoměrnost osvětlení je v tomto případě způsobena především díky osvětlování relativně malého prostoru zářivkami s lesklou hliníkovou mřížkou.

**Tabulka 18 – Naměřené hodnoty pro A1.52 Studijní oddělení - Mgr. - vybraný úsek (26,62 m<sup>2</sup>)**

Místnost:	<b>A1.52 Studijní Mgr.</b>				
Kontrolní body:	12 ks				
Veličina:	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$z$	$E_m$ [lx]	$r(E_{min}/E_p)$
Zjištěná hodnota:	1394	1120	0,8	1115	0,8
Nejistota výsledků:	+/- 10%				
Požadovaná hodnota:	ČSN EN 12464-1			500	0,7

**Tabulka 19 – Vypočítané hodnoty intenzit osvětlení na srovnávací rovině chodby A1.52**

	$E_m$ [lx]	$E_{min}$ [lx]	$E_{max}$ [lx]	$E_{min}/E_m$ [ - ]
<b>Soustava zářivek MODUS ARES 2x54W RAL 9006</b>	942	688	1140	0,73

Porovnáme-li naměřené hodnoty z tabulky 18 a vypočítané hodnoty tabulky 19 osvětlovací soustavy se svítidly MODUS ARES, je zřejmé, že v rámci nejistoty uvažování výsledků měření s nejistotou +/- 10% jsou hodnoty srovnatelné pouze pro případ  $E_m$ , kdy jsou přibližně podobné. Avšak při porovnání vypočítaných pro  $E_{min}$  a  $E_{max}$  se hodnoty vzhledem k naměřeným hodnotám liší. Tato rozdílnost výsledků může být způsobena z několika důvodů:

1. Odchylka měřících přístrojů
2. Nejistota měření
3. Nepatrně jiné uvažované rozměry plochy pro výpočet a pro měření

Na závěr však můžeme konstatovat, že vychází-li naměřené hodnoty vyšší než vypočítané, pak se jedná o velmi vhodný výsledek.

Podrobnější výsledky výpočtů pro Studijní Mgr. jsou uvedeny v příloze X.

## 7. Závěr

Možností, jak osvětlit vnitřní prostory, je hodně. Ačkoliv jsou tyto možnosti doprovázeny dodržováním norem pro vnitřní osvětlování a také druhu prováděné činnosti v dané místnosti, máme stále na výběr, zda zvolit svítidla žárovková, zářivková, či LED.

Teoretický rozbor bakalářské práce je zaměřen především na moderní světelné zdroje LED pro osvětlování vnitřních pracovních prostorů z důvodu poukázání na jejich vlastnosti a přednosti v rámci jejich současného a častějšího využití. Z technického hlediska jsou porovnány světelné – technické parametry světelných zdrojů pro vnitřní osvětlování včetně LED, které jsou ukazateli kvality světelného zdroje.

V návaznosti k těmto teoretickým kapitolám byly vypočteny ve výpočetním programu Relux parametry osvětlovacích soustav se zářivkovými svítidly a s LED svítidly pro chodbu v nové budově FEI V ŠB – TUO. Tyto výsledné výpočty jsem porovnala s reálnými vlastnostmi osvětlovacích soustav, z čehož je zcela zřejmé, že soustava s LED svítidly je výhodnější z důvodů lepších parametrů, než je tomu u osvětlovací soustavy se zářivkami.

Ačkoliv pořizovací cena je mnohem vyšší právě pro osvětlovací soustavu s LED svítidly, investice na její pořízení se nám, podle mnou provedených výpočtů, zhodnotí zhruba po 6 letech. Životnost osvětlovací soustavy s LED svítidly vychází zhruba 19 let, což vyplývá z roční doby provozu 2580 hodin při 10 hodinách svícení denně. V případě zářivkové osvětlovací soustavy by bylo potřeba vyměnit původní soustavu zářivek za novou vždy po 4,65 letech, což vyžaduje přibližně čtyři výměny nových osvětlovacích soustav se zářivkami a vyšší pořizovací náklady vzhledem k délce životnosti LED světelných zdrojů. Budeme-li uvažovat cenu elektrické energie 4,83 Kč/kWh, pak celkové náklady za zmíněných 19 let vycházejí pro LED osvětlovací soustavu 847 899,03 Kč a pro osvětlovací soustavu se zářivkami 1 261 651,84 Kč, což je z hlediska ekonomiky dražší přibližně 1,97krát.

Poslední částí bakalářské práce je porovnání reálných vlastností a výsledků dle měření osvětlovací soustavy se zářivkami a osvětlovací soustavy s LED. Porovnání vypočítaných hodnot a naměřených hodnot se v případě LED osvětlovací soustavy pro danou chodbu nové budovy FEI VŠB – TUO nijak výrazně neliší a vypočítané hodnoty tak odpovídají naměřeným. Při porovnání naměřených a vypočítaných hodnot zářivkové osvětlovací soustavy pro místnost Studijního oddělení – Mgr. nové budovy FEI VŠB – TUO se výsledky liší, a to tak, že naměřené hodnoty jsou vyšší než vypočítané, což v závěru můžeme zhodnotit jako vyhovující, avšak tento rozdíl může být způsoben již zmíněnou odchylkou měřicích přístrojů, nejistotou měření nebo nepatrně jiné uvažované rozměry místnosti pro výpočet a pro měření.

### **Za svůj přínos považuji**

Vytvoření uceleného přehledu možností osvětlování vnitřních pracovních prostorů se zářivkovými svítidly a s LED svítidly, jejich výhody, nevýhody, ale také zvyšování účinnosti svítidel.

Porovnání a ověření světelně-technických parametrů svítidel se zářivkami a svítidel s LED jak výpočtem, tak měřením, ale také porovnání shodnosti těchto vypočítaných a naměřených hodnot k požadovaným hodnotám normy ČSN EN 12464-1.

Porovnání ekonomické výhodnosti instalování osvětlovací soustavy s LED svítidly oproti osvětlovací soustavě se zářivkami a jejich doby návratnosti.



## 8. Použité zdroje

- [1] Svítidlo. *Wikipedie-Otevřená encyklopedie*. [online]. 10.2.2012 [citováno 12. října 2012]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Svítidlo>>
- [2] When e ach r eflection co unts. *Alanod* [online]. [citováno 12. října 2012]. D ostupné z : <<http://alanod.com/opencms/opencms/en/products/pvd/miro-silver/>>
- [3] Elektroluminiscence. *Wikipedie-Otevřená encyklopedie* [online]. 23. 9.2012 [ citováno 4. listopadu 2012]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/Elektroluminiscence>>
- [4] VEČEŘA, F. *Měření světelné účinnosti zdrojů světla*. Brno, 2011. 80s. Diplomová práce na Přírodovědecké fakultě Masarykovy univerzity. Vedoucí diplomové práce doc. RNDr. Zdeněk Bochníček, Dr.
- [5] LED MODUL - CO TO JE, KDE A JAK SE POUŽÍVÁ. *Q-PRODUCT* [online]. Březen 2012 [citováno 4 října 2012]. Dostupné z: <<http://www.q-product.cz/ledmod.htm>>
- [6] OMS, firemní katalog. *LED's GO!*. 2012. 125 s.
- [7] Moderní LED osvětlení s jednoduchou montáží. *LED p ásky* [online]. 2 011 [ citováno 6. listopadu 2012]. Dostupné z: <<http://www.ledpasky.net/>>
- [8] Světelné stropy. *Světelné stropy – osvetlenie s tropov a poh ľady* [online]. [citováno 6. listopadu 2012]. Dostupné z: <<http://svetelnestropy.sk/>>
- [9] Světelné pohledy změni váš pohled. *Zajímavé.eu - Kvalitní články & recenze* [online]. 13.1.2012 [ citováno 6. listopadu 20 12]. < <http://zajimave.eu/svetelne-pohledy-zmeni-vas-pohled-1374>>
- [10] SOKANSKÝ, Karel. NOVÁK, Tomáš. GAŠ PAROVSKÝ, Di onýz. ŠNOBL, J aroslav. DIVIŠ, Daniel. *Úspory energie v osvětlování při hodnocení energetické náročnosti budov*. 2009. 81 s. [ citováno 6. listopadu 2012] D ostupné z : <[http://www.csorsostrava.cz/publikace/Uspery\\_energie\\_v\\_osvetlovani\\_pri\\_hodnoceni\\_energeticke\\_narocnosti\\_budov/Zaverecna\\_zprava.pdf](http://www.csorsostrava.cz/publikace/Uspery_energie_v_osvetlovani_pri_hodnoceni_energeticke_narocnosti_budov/Zaverecna_zprava.pdf)>
- [11] Svítidla R eflex E asy od firmy i Guzzini. *Světlo* [online]. 2011, č.44770 [citováno 25. září 2012]. Dostupné z: <<http://www.odbornecasopisy.cz/res/pdf/44770.pdf>>
- [12] SOKANSKÝ, Karel. NOVÁK, Tomáš. BÁLSKÝ, Marek. BLÁHA, Zdeněk. CARBOL, Zbyněk. DIVIŠ, Daniel. SOCHA, Blahoslav. ŠNOBL, Jaroslav. ŠUMPICH, Jan. ZÁVADA, Petr. *Světelná technika*. Praha: nakladatelství EUROPRINT, 2011. 255 s. ISBN 978-80-01-04941-9.

- [13] SOKANSKÝ, Ka rel. NOV ÁK, Tomáš. DOSTÁL, František. MUCHOVÁ, Alena. VORÁČEK, Jiří. HLADKÝ, Luděk. ŽWAK, Zdislav. *Dominantní vlivy ovlivňující spotřebu elektrické energie osvětlovacích soustav*. 2007. 117 s. [citováno 26.září 2012]. Dostupné z: <[http://www.csorsostrava.cz/publikace/dominantni\\_vlivy\\_2007.pdf](http://www.csorsostrava.cz/publikace/dominantni_vlivy_2007.pdf)>
- [14] Sestavy s LED pásky. *LEDsvět.cz*. [online]. 2012 [citováno 25.října 2012]. Dostupné z: <<http://www.ledsvet.cz/content/11-led-sestavy-na-miru>>
- [15] ČSN EN 12464-1 *Světlo a osvětlení – Osvětlení pracovních prostorů – Část 1: Vnitřní pracovní prostory*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011. 62 s. Třídící znak 36 0450.
- [16] BALAŠ, Zlatko. JANÍK, Matej. RUSNÁK, Anton. SMOLA, Alfonz. LED v obytných priestoroch. *Kurz osvětlovací techniky XXIX*. Ostrava: VŠB – TECHNICKÁ UNIVERZITA. Fakulta elektrotechniky a informatiky. Katedra elektroenergetiky, 2012. s. 291 – 297.
- [17] LED. *Wikipedie – Otevřená encyklopedie* [online]. 5.11.2012 [citováno 6.listopadu 2012]. Dostupné z: <<http://cs.wikipedia.org/wiki/LED>>
- [18] Vývojové tendence ve světelných zdrojích a svítidlech. *tzbinfo* [online]. 5.3.2012 [citováno 26.září 2012]. Dostupné z: <<http://elektro.tzb-info.cz/osvetleni/8343-vyvojove-tendence-ve-svetelných-zdrojích-a-svitidlech>>
- [19] Cree modules. *CREE* [online]. 2012 [citováno 15.října]. Dostupné z: <<http://www.cree.com/led-components-and-modules/products/>>
- [20] Náklady za elektřinu dejte k LEDu. *Důmabyt* [online]. 2012, 9. [citováno 3.listopadu 2012]. Dostupné z: <[http://www.dumabyt.cz/rubriky/finance/jak-usetrit/naklady-za-elektrinu-dejte-k-ledu\\_23322.html](http://www.dumabyt.cz/rubriky/finance/jak-usetrit/naklady-za-elektrinu-dejte-k-ledu_23322.html)>
- [21] Regulace jasu LED. *Wikipedie – Otevřená encyklopedie* [online]. 5.11.2012 [citováno 22.listopadu 2012]. Dostupné z: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/LED#Regulace\\_jasu\\_LED](http://cs.wikipedia.org/wiki/LED#Regulace_jasu_LED)>
- [22] Elkovo – Čepelík, firemní katalog. *LED Svítidla*. 2012. 71 s.
- [23] DAŠEK, Martin. DVOŘÁČEK, Karel. HÁJEK, Martin. KÓNIG, Jan. *Osvětlování vnitřních prostorů*. Praha: nakladatelství SEVEN, 2002. 95 s. ISBN 80-238-9285-1.
- [24] LED downlight. *BESEEN – revoluční led osvětlení*. [online]. 2012 [citováno 6.listopadu 2012]. Dostupné z: <<http://beseen.cz/led-produkty/led-downlight>>
- [25] PWM pro výkonové LED diody – *NaKole.cz*. [online]. 22. 1.2011 [citováno 22.listopadu 2012]. Dostupné z: <<http://www.nakole.cz/diskuse/12574-pwm-pro-vykonne-led-diody.html>>

- [26] Světelné zdroje – kompaktní zářivka [online]. 6.6.2008 [citováno 23.listopadu 2012]. Dostupné z: <<http://www.e-architekt.cz/print.php?Pid=3221>>
- [27] LED svítidla a žárovky – *ALMICRA* [online]. 2012 [citováno 4.listopadu 2012]. Dostupné z: <<http://www.almicra.com/informace-o-led-technice1/>>
- [28] LED Luminaire Reliability – *LED Measurement Series*. [online]. 2012 [citováno 4.prosince 2012]. Dostupné z: <[http://cool.conservation-us.org/byorg/us-doe/luminaire\\_reliability.pdf](http://cool.conservation-us.org/byorg/us-doe/luminaire_reliability.pdf)>
- [29] Blue room – *Bringing backstage online* [online]. 2012 [citováno 4.prosince 2012]. Dostupné z: <<http://www.blue-room.org.uk/index.php?showtopic=39052>>
- [30] RICHTR, Z. *Potenciál úspor vyplývající z použití moderních světelných zdrojů ve vnitřních pracovních prostorech*. Ostrava, 2011. 70s. Diplomová práce na Fakultě elektrotechniky a informatiky Vysoké školy Báňské. Vedoucí diplomové práce Ing. Tomáš Novák, Ph.D.

## 9. Seznam příloh

Příloha 1	Princip funkce LED
Příloha 2	Porovnání světelných zdrojů pro vnitřní osvětlení s LED zdrojem
Příloha 3	Ukázka možnosti výběru LED dle teploty chromatičnosti
Příloha 4	Typy svítidel
Příloha 5	Svítidla se zářivkami - Lissa 1
Příloha 6	Svítidla s LED světelnými zdroji - LED OIZZO
Příloha 7	Osvětlovací soustava s LED světelnými zdroji – LED OIZZO
Příloha 8	Osvětlovací soustava se zářivkami - Lissa 1
Příloha 9	Zářivkové svítidlo MODUS ARES
Příloha 10	Osvětlovací soustava se zářivkami - MODUS ARES